Construirea cu Pământul

Gernot Minke

Construirea cu Pământul

Design şi tehnologia unei arhitecturi durabile

Birkhauser - Publishers for Architecture Basel • Berlin • Boston

Lucrul cu blocuri de pământ 61 Istorie 61

Producţia de blocuri de pământ 62

Compoziţia materialului 65

Pozarea blocurilor de pământ 65

Tratarea suprafeţei 66

Fixarea elementelor de fixare pe pereţi 67 Blocuri de lut uşor 67

Cărămizi verzi acustice speciale 68

Blocuri mari şi panouri prefabricate 69

Blocuri mari 69

Panouri de perete prefabricate 70

Placi de podea 70

gresie 71

Plăci de lut extrudat 71

Formare directă cu lut umed 72

Tehnici tradiţionale de lut umed 72

Tehnica „pâine de lut Dunne” 74

Tehnica stranglehm 75

Umplutură cu lut umed în structurile scheletului 80

Loam aruncat 80

Loam pulverizat 80

Rulouri şi sticle de lut de paie 81 Umplutură de lut uşor 82

Umpleţi cu furtunuri stranglehm şi umplute cu pământ 82

Loam uşor tamponat, turnat sau pompat 83

Cofraj 83

Pereţi de lut de lemn uşor tamponaţi 83 Pereţi de lut de lemn uşor tamponaţi 84 Pereţi de lut mineral uşor tamponaţi, turnaţi sau pompaţi 85

Podele de lut mineral uşor pompate 88 Blocuri goale umplute cu lut 89

Furtunuri umplute cu lut 90

Tencuieli de lut 92

Pregătirea terenului 92

Compoziţia tencuielii lutoase 92

Ghid pentru tencuirea pereţilor de pământ 94

Tencuiala pulverizata 95

Tencuială lut minerală uşoară 95 Tencuială aruncată 95

Case tencuite cu balot de paie 95

Tencuială formată umedă 96

Protecţia colţurilor 96

Protecţia împotriva intemperiilor a suprafeţelor argiloase 98

Consolidarea suprafeţei 98

Vopsele 98

Realizarea suprafeţelor hidrofuge 101

Tencuieli de var 101

Sindrila, scânduri şi alte capace 103

Metode structurale 103

Repararea componentelor argiloase 104

Apariţia deteriorării componentelor de lut 104 Repararea fisurilor şi îmbinărilor cu materiale de umplutură de lut 104 Repararea fisurilor şi îmbinărilor cu alte materiale de umplutură 105 Repararea unor zone mai mari de deteriorare 105

Refacerea izolaţiei termice cu lut uşor 106

Proiectarea anumitor elemente de construcţie 107

Articulaţiile 107

Modele speciale de pereţi 108

Etaje intermediare 110

Podele din pământ batut 112

Acoperişuri înclinate umplute cu lut uşor 115

Acoperişuri acoperite cu pământ 115

Bolţi de bloc de pământ şi cupole 117

Perete de depozitare de pământ în grădinile de iarnă 131

Loam în băi 132

Mobilier încorporat şi obiecte sanitare din lut 133 Sisteme de încălzire pe perete 134

Sistem solar pasiv de încălzire cu perete 134

Clădire rezistentă la cutremur 135

Măsuri structurale 136

Deschideri pentru usi si ferestre 140

Pereţi de pământ batut armat cu bambus 141

Domuri 144

Bolti 145

Pereţi textile cu umplutură de lut 147

Reşedinţă şi studio la Gallina Canyon,

New Mexico, SUA 162

Reşedinţă la Des Montes, lângă Taos,

New Mexico, SUA 164

Casita Nuaanarpoq din Taos, New Mexico, SUA 166 Reşedinţă şi birou la Bowen Mountain,

New South Wales, Australia 167

Vineyard Residence din Peninsula Mornington,

Victoria, Australia 168

Reşedinţă, Helensville, Noua Zeelandă 170

Residence, Sao Francisco Xavier, Brazilia 172

Clădiri culturale, educaţionale şi sacre

Institutul Panafrican pentru Dezvoltare, Ouagadougou,

Burkina Faso 174

Clădire de birouri, New Delhi, India 176

Scoala de la Solvig, Jarna, Suedia 178

Grădiniţa, Sorsum, Germania 180

Centrul Cultural, La Paz, Bolivia 182

Moscheea, Wabern, Germania 183

Druk White Lotus School, Ladakh, India 184

Mii amo Spa la Sedona, Arizona, SUA 186

Staţiune turistică din Baird Bay, Peninsula Eyre,

Australia de Sud 188

Universitatea Charles Sturt din Thurgoona,

New South Wales, Australia 189

Centrul de Tineret din Spandau, Berlin, Germania 190 Capela Reconcilierii, Berlin, Germania 192 Sala Fundaţiei Centrului de Gravitate din Jemez Springs,

New Mexico, SUA 194

Perspective de viitor 196

Măsurile 197

Referinţe bibliografice 198 Mulţumiri 199

Credite ilustrative 199

II Exemple construite

Reşedinţe

Două case semi-decomandate, Kassel, Germania 150 Residence cu birou, Kassel, Germania 153 Fermă, Wazipur, India 156

Honey House din Moab, Utah, SUA 157 Casă cu trei familii, Stein pe Rin,

Elveţia 158

Reşedinţă, La Paz, Bolivia 160

Reşedinţa, Turku, Finlanda 161

reface faţadă

Scris ca răspuns la un interes din ce în ce mai mare la nivel mondial pentru construcţia cu pământ, acest manual tratează pământul ca material de construcţie şi oferă o prezentare a tuturor aplicaţiilor şi tehnicilor sale de construcţie, inclusiv datele fizice relevante, explicând în acelaşi timp calităţile sale specifice şi posibilităţile de optimizare a acestora. Niciun tratat teoretic, însă, nu poate înlocui experienţa practică care implică de fapt construirea cu pământ. Datele şi experienţele şi realizările specifice ale construcţiilor din pământ conţinute în acest volum pot fi folosite ca linii directoare pentru o varietate de procese de construcţie şi posibile aplicaţii de către ingineri, arhitecţi, antreprenori, meşteri şi factori de decizie publică care încearcă, fie din dorinţă, fie din necesitate, să se împace cu cel mai vechi material de construcţie al umanităţii.

Pământul ca material de construcţie vine în o mie de compoziţii diferite şi poate fi prelucrat în mod diferit. Loam, sau sol argilos, aşa cum este menţionat ştiinţific, are denumiri diferite atunci când este utilizat în diverse aplicaţii, de exemplu pământ batut, blocuri de pământ, cărămizi de noroi sau chirpici.

Această carte documentează rezultatele experimentelor şi cercetărilor efectuate în mod continuu la Forschungslabor fur Experimentelles Bauen (Institutul de Cercetare a Construcţiilor) de la Universitatea Kassel din Germania din 1978. Mai mult, tehnicile specializate pe care le-a dezvoltat autorul şi experienţa practică pe care a acumulat-o în cursul proiectării clădirilor din pământ într-un număr de ţări şi-au găsit drumul în această carte.

Acest volum este bazat pe publicaţia germană Dasneue Lehmbau-Handbuch (Editura: Okobuch Verlag, Staufen), publicată pentru prima dată în 1994 şi acum la a şasea ediţie. Din această publicaţie au apărut şi o ediţie spaniolă şi una rusă.

Deşi aceasta este în primul rând o carte tehnică, capitolul introductiv oferă cititorului, de asemenea, un scurt studiu despre istoria arhitecturii pământului. În plus, descrie rolurile istorice şi viitoare ale pământului ca material de construcţie şi enumeră toate caracteristicile semnificative care disting pământul de materialele de construcţie industrializate obişnuite. O descoperire recentă majoră, că pământul poate fi folosit pentru a echilibra climatul interior, este explicată mai detaliat.

Ultimul capitol al cărţii merită o menţiune specială în măsura în care înfăţişează o serie de clădiri reprezentative din pământ din diferite regiuni ale lumii. Aceste construcţii demonstrează versatilitatea impresionantă a arhitecturii pământului şi numeroasele utilizări diferite ale materialului de construcţie pământ.

Kassel, februarie 2006 Gernot Minke

tehnologia construcţiei pământului

1 II

introducere

În aproape toate climatele cald-aride şi temperate, pământul a fost întotdeauna cel mai răspândit material de construcţie. Chiar şi astăzi, o treime din populaţia umană locuieşte în case de pământ; în ţările în curs de dezvoltare, această cifră este mai mare de jumătate. Sa dovedit imposibil de îndeplinit cerinţele imense de adăpost în ţările în curs de dezvoltare cu materiale de construcţie industrială, adică cărămidă, beton şi oţel, nici cu tehnici de construcţie industrializate. La nivel mondial, nicio regiune nu este dotată cu capacitatea productivă sau cu resursele financiare necesare pentru a satisface această cerere. În ţările în curs de dezvoltare, cerinţele pentru adăpost pot fi îndeplinite numai prin utilizarea materialelor de construcţie locale şi bazându-se pe tehnici de construcţie „do-it-yourself". Pământul este cel mai important material natural de construcţie şi este disponibil în majoritatea regiunilor lumii. Se obţine frecvent direct de pe şantier la excavarea fundaţiilor sau subsolurilor. În ţările industrializate, exploatarea neglijentă a resurselor şi a capitalului centralizat combinată cu producţia consumatoare de energie nu este doar o risipă; de asemenea, poluează mediul şi creşte şomajul. În aceste ţări, pământul este reînviat ca material de construcţie.

Din ce în ce mai mult, oamenii care construiesc case necesită clădiri eficiente din punct de vedere energetic şi din punct de vedere al costurilor, care să pună accent pe un climat interior sănătos şi echilibrat. Aceştia ajung să realizeze că noroiul, ca material natural de construcţie, este superior materialelor industriale de construcţie precum betonul, cărămida şi gresia de var. Tehnicile avansate de construcţie cu pământ recent dezvoltate demonstrează valoarea pământului nu numai în construcţiile de tip „do-it-yourself", ci şi pentru construcţiile industrializate care implică antreprenori.

Acest manual prezintă datele teoretice de bază referitoare la acest material şi oferă liniile directoare necesare, bazate pe cercetarea ştiinţifică şi experienţa practică, pentru aplicarea acestuia într-o varietate de contexte.

Istorie

Tehnicile de construcţie a pământului sunt cunoscute de peste 9000 de ani. Case din cărămidă de noroi (chirpici) datând între 8000 şi 6000 î.Hr. au fost descoperite în Turkestanul rus (Pumpelly, 1908). Fundaţii de pământ batut datând din cca. 5000 î.Hr. au fost

descoperit în Asiria. Pământul a fost folosit ca material de construcţie în toate culturile antice, nu numai pentru case, ci şi pentru clădirile religioase. Ilustraţia 1.1 arată bolţile din

Templul lui Ramses II din Gourna, Egipt, construite din cărămizi de noroi în urmă cu 3200 de ani. Ilustraţia 1.2 prezintă cetatea Bam din Iran, părţi din care sunt cca. 2500 de ani; 1.3 prezintă un oraş fortificat din valea Draa din Maroc, care are aproximativ 250 de ani.

Marele Zid Chinezesc, vechi de 4000 de ani, a fost construit iniţial numai din pământ batut; doar o acoperire ulterioară din pietre şi cărămizi i-a dat aspectul unui zid de piatră. Miezul Piramidei Soarelui din Teotihuacan, Mexic, construit între anii 300 şi 900 d.Hr., este format din aproximativ 2 milioane de tone de pământ batut.

Cu multe secole în urmă, în zonele climatice uscate, unde lemnul este rar, s-au dezvoltat tehnici de construcţie în care clădirile erau acoperite cu bolţi de cărămidă de noroi sau cupole fără cofraje sau sprijin în timpul construcţiei. Ilustraţia 1.6 arată cartierul bazar din Sirdjan din Persia, care este acoperit de astfel de cupole şi bolţi. În China, douăzeci de milioane de oameni trăiesc în case subterane sau peşteri care au fost săpate în solul mâlos.

Descoperirile din epoca bronzului au stabilit că în Germania pământul era folosit ca umplutură în casele cu rame de lemn sau pentru a sigila pereţii din trunchiuri de copaci. De asemenea, s-a folosit bara şi stropi. Cel mai vechi exemplu de cărămidă de noroi

zidurile din nordul Europei, găsite în Fortul Heuneburg de lângă Lacul Constance, Germania (1,8) datează din secolul al VI-lea î.Hr. Ştim din textele antice ale lui Pliniu că au existat forturi de pământ în Spania până la sfârşitul anului 100 î.Hr.

În Mexic, America Centrală şi America de Sud, clădirile din chirpici sunt cunoscute în aproape toate culturile precolumbiene. Tehnica pământului batut era cunoscută şi în multe zone, în timp ce cuceritorii spanioli au adus-o în altele. Ilustraţia 1.7 arată o fincă de pământ zdrobit din statul Sao Paulo, Brazilia, care are 250 de ani.

În Africa, aproape toate moscheile timpurii sunt construite din pământ. Ilustraţia 1.9 arată una din

secolul al XII-lea, 1.4 şi 1.5 arată exemple ulterioare în Mali şi Iran.

În perioada medievală (secolele XIII-XVII), pământul a fost folosit în toată Europa Centrală ca umplutură în clădirile cu rame din lemn, precum şi pentru acoperirea acoperişurilor din paie pentru a le face rezistente la foc.

În Franţa, tehnica pământului batut, numită terre pise, a fost larg răspândită din secolele al XV-lea până în secolele al XIX-lea. În apropierea oraşului Lyon, există mai multe clădiri vechi de peste 300 de ani şi încă locuite. În 1790 şi 1791, Francois Cointeraux a publicat patru broşuri despre această tehnică care au fost traduse în germană doi ani mai târziu (Cointeraux, 1793). Tehnica a ajuns să fie cunoscută în toată Germania şi în ţările vecine prin Cointeraux şi prin David Gilly, care a scris faimosul Handbuch der Lehmbaukunst (Gilly, 1787), care descrie tehnica pământului batut ca fiind cea mai avantajoasă metodă de construcţie cu pământ.

În Germania, cea mai veche casă locuită cu ziduri de pământ batut datează din 1795 (1.10). Proprietarul acesteia, directorul departamentului de pompieri, a susţinut că casele rezistente la foc ar putea fi construite mai economic folosind această tehnică, spre deosebire de casele obişnuite din lemn cu umplutură de pământ.

Cea mai înaltă casă cu ziduri de pământ solid din Europa se află la Weilburg, Germania. Terminat în 1828, rămâne în picioare (1.11). Toate tavanele şi întreaga structură a acoperişului se sprijină pe pereţii solidi de pământ batut care au o grosime de 75 cm la partea inferioară şi 40 cm grosime la ultimul etaj (forţa de compresiune la baza pereţilor ajunge la 7,5 kg/cm2). Ilustraţia 1.12 prezintă faţadele altor case de pământ batut de la Weilburg, construite în jurul anului 1830.

Pământul ca material de construcţie: elementele esenţiale

Pământul, atunci când este folosit ca material de construcţie, primeşte adesea nume diferite. Denumit în termeni ştiinţifici lut, este un amestec de argilă, nămol (nisip foarte fin), nisip şi ocazional agregate mai mari, cum ar fi pietriş sau pietre.

Când vorbim de cărămizi necoapte manual, termenii „cărămizi de noroi" sau „chirpici" sunt de obicei folosiţi; când vorbim de cărămizi comprimate necoapte, se foloseşte termenul de „blocuri de sol". Când este compactat într-un cofraj, se numeşte „pământ zdruncinat". Loam are trei dezavantaje în comparaţie cu materialele de construcţie industrializate obişnuite:

Lutul nu este un material de construcţie standardizat

În funcţie de locul în care este săpat argila, acesta va fi compus din diferite cantităţi şi tipuri de argilă, mâl, nisip şi agregate. Prin urmare, caracteristicile sale pot diferi de la un loc la altul şi, de asemenea, prepararea amestecului corect pentru o anumită aplicaţie poate diferi. Pentru a aprecia caracteristicile acestuia şi pentru a le modifica, atunci când este necesar, prin aplicarea de aditivi, este necesar să se cunoască compoziţia specifică a lutului implicat.

Amestecuri de lut se contractă la uscare Datorită evaporării apei utilizate pentru prepararea amestecului (este necesară umiditatea pentru a-şi activa puterea de legare şi pentru a obţine lucrabilitate), vor apărea fisuri de contracţie. Raportul de contracţie liniară este de obicei între 3% şi 12% în cazul amestecurilor umede (cum ar fi cele utilizate pentru mortar şi cărămizi de noroi), şi între 0,4% şi 2% cu amestecuri mai uscate (folosit pentru pământ batut, blocuri de sol comprimat). Contracţia poate fi redusă la minimum prin reducerea conţinutului de argilă şi apă, prin optimizarea distribuţiei granulometrice şi prin utilizarea aditivilor (vezi p. 39).

Loam nu este rezistent la apă

Loam trebuie să fie adăpostit împotriva ploii şi îngheţului, mai ales în starea sa umedă. Peretii de pamant pot fi protejati prin protocoale de acoperis, straturi rezistente la umezeala, acoperiri adecvate de suprafata etc. (vezi p. 40).

Pe de altă parte, argila are multe avantaje în comparaţie cu materialele industriale obişnuite de construcţie:

Loam echilibrează umiditatea aerului

Loam este capabil să absoarbă şi să absoarbă umiditatea mai rapid şi într-o măsură mai mare decât orice alt material de construcţie, permiţându-i să echilibreze climatul interior. Experimentele de la Forschungslabor fur Experimentelles Bauen (Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor, sau BRL) de la Universitatea din Kassel, Germania, au demonstrat că atunci când umiditatea relativă dintr-o cameră a crescut brusc de la 50% la 80%, cărămizile necoapte au fost capabile, într-o perioadă de două zile, să absoarbă de 30 de ori mai multă umiditate decât cărămizile coapte. Chiar şi când stai înăuntru

o cameră climatică la 95% umiditate timp de şase luni, chirpici nu se udă şi nu îşi pierd stabilitatea; nici nu depăşesc conţinutul lor de umiditate de echilibru, care este de aproximativ 5% până la 7% în greutate. (Umiditatea maximă pe care o poate absorbi un material uscat se numeşte „conţinutul său de umiditate de echilibru").

Măsurătorile efectuate într-o casă nou construită din Germania, ai cărei pereţi interiori şi exteriori sunt toţi din pământ, pe o perioadă de opt ani, au arătat că umiditatea relativă din această casă a fost aproape constantă de 50% pe tot parcursul anului. A fluctuat doar cu 5% până la 10%, producând astfel o stare de viaţă sănătoasă, cu umiditate redusă vara şi umiditate ridicată iarna. (Pentru mai multe detalii, vezi p. 15).

Loam stochează căldură

Ca toate materialele grele, argila stochează căldura. Ca urmare, în zonele climatice cu diferenţe mari de temperatură diurnă, sau unde devine necesară stocarea câştigului de căldură solară prin mijloace pasive, argila poate echilibra climatul interior.

Loam economiseşte energie şi reduce poluarea mediului

Pregătirea, transportul şi manipularea lutului la faţa locului necesită doar cca. 1% din energia necesară pentru producerea, transportul şi manipularea cărămizilor coapte sau a betonului armat. Loam, prin urmare, nu produce practic nicio poluare a mediului.

Loam este întotdeauna reutilizabil

Locul necopt poate fi reciclat de un număr nedefinit de ori pe o perioadă extrem de lungă. Lotul uscat vechi poate fi refolosit după înmuiere în apă, astfel încât lutul nu devine niciodată un deşeu care dăunează mediului.

Loam economiseşte costurile de material şi transport

Solul argilos se găseşte adesea pe şantier, astfel încât solul excavat pentru fundaţii poate fi apoi folosit pentru construcţia de pământ. Dacă solul conţine prea puţină argilă, atunci trebuie adăugat pământ argilos, în timp ce dacă este prezentă prea multă argilă, se adaugă nisip.

Utilizarea solului excavat înseamnă costuri mult reduse în comparaţie cu alte materiale de construcţie. Chiar dacă acest sol este transportat de pe alte şantiere, de obicei este mult mai ieftin decât materialele de construcţie industriale.

Loam este ideal pentru construcţii de tip „do-it-yourself".

Cu condiţia ca procesul de construcţie să fie supravegheat de o persoană cu experienţă, tehnicile de construcţie cu pământ pot fi de obicei executate de neprofesionişti. Deoarece procesele implicate necesită forţă de muncă intensă şi necesită doar unelte şi maşini ieftine, ele sunt ideale pentru construcţia de tip „do-it-yourself".

Loam păstrează lemnul şi alte materiale organice

Datorită conţinutului scăzut de umiditate de echilibru, de 0,4% până la 6% în greutate şi a capilarităţii sale ridicate, argilosul conservă elementele lemnoase care rămân în contact cu acesta, menţinându-le uscate. În mod normal, ciupercile sau insectele nu vor deteriora astfel de lemn, deoarece insectele au nevoie de minimum 14% până la 18% umiditate pentru a menţine viaţa, iar ciupercile mai mult de 20% (Mohler 1978, p. 18). În mod similar, argila poate păstra cantităţi mici de paie care sunt amestecate în el.

Cu toate acestea, dacă se foloseşte lut de paie uşor, cu o densitate mai mică de 500 până la 600 kg/m3, atunci lutul îşi poate pierde capacitatea de conservare din cauza capilarităţii mari a paiului atunci când este utilizat într-o proporţie atât de mare.

1.10

ţiuni. În astfel de cazuri, paiele pot putrezi când rămân ude pe perioade lungi (vezi p. 83).

Loam absoarbe poluanţii

Se susţine adesea că pereţii de pământ ajută la curăţarea aerului poluat din interior, dar acest lucru nu a fost încă dovedit ştiinţific. Este un fapt că pereţii de pământ pot absorbi poluanţii dizolvaţi în apă. De exemplu, în Ruhleben, Berlin, există o fabrică demonstrativă, care foloseşte solul argilos pentru a îndepărta fosfaţii din 600 m3 de canalizare zilnic. Fosfaţii sunt legaţi de mineralele argiloase şi extraşi din ape uzate. Avantajul acestei proceduri este că, deoarece nu rămân substanţe străine în apă, fosfaţii sunt transformaţi în fosfat de calciu pentru reutilizare ca îngrăşământ.

Îmbunătăţirea climatului interior

În climatul moderat până la rece, oamenii îşi petrec de obicei aproximativ 90% din timp în spaţii închise, astfel încât clima interioară este un factor crucial al bunăstării. Confortul depinde de temperatură, mişcare, umiditate, radiaţii către şi de la obiectele din jur şi conţinutul de poluare al aerului conţinut într-o cameră dată.

Deşi ocupanţii devin imediat conştienţi când temperatura camerei este prea ridicată sau prea scăzută, efectele negative ale nivelurilor excesiv de ridicate sau reduse de umiditate nu sunt cunoscute. Umiditatea aerului din spaţiile închise are un impact semnificativ asupra sănătăţii locuitorilor, iar pământul are capacitatea de a echilibra umiditatea interioară ca niciun alt material de construcţie. Acest fapt, investigat doar recent, este descris în detaliu mai târziu în această secţiune.

Umiditatea aerului şi sănătatea

Cercetările efectuate de Grandjean (1972) şi Becker (1986) au arătat că o umiditate relativă mai mică de 40% pe o perioadă lungă de timp poate usca membrana mucoasă, ceea ce poate scădea rezistenţa la răceli şi boli asociate. Acest lucru se întâmplă deoarece, în mod normal, membrana mucoasă a ţesutului epitelial din trahee absoarbe praful, bacteriile, virușii etc. şi le readuce în gură prin mişcarea ondulată a părului epitelial. Dacă acest sistem de absorbţie şi transport este perturbat prin uscare, atunci corpurile străine pot ajunge la plămâni şi pot cauza probleme de sănătate (vezi 1.13). O umiditate relativă ridicată de până la 70% are multe consecinţe pozitive: reduce conţinutul de praf fin din aer, activează mecanismele de protecţie a pielii împotriva microbilor, reduce viaţa multor bacterii şi virușı şi reduce mirosul şi încărcarea statică de pe suprafeţele obiectelor din cameră.

O umiditate relativă de peste 70% este în mod normal resimţită ca neplăcută, probabil din cauza reducerii aportului de oxigen de către sânge în condiţii calde şi umede. Creşterea durerilor reumatice se observă în aerul rece umed. Formarea ciupercilor creşte semnificativ în încăperile închise când umiditatea creşte peste 70% sau 80%. Sporii de ciuperci în cantităţi mari pot duce la diferite tipuri de durere şi alergii. Din aceste consideraţii, rezultă că conţinutul de umiditate într-o cameră trebuie să fie de minim 40%, dar nu mai mult de 70%.

1.13

Impactul schimbului de aer asupra umidităţii aerului În climatele moderate şi reci, când temperaturile exterioare sunt mult mai scăzute decât temperaturile interioare, gradul mai mare de schimb de aer proaspăt poate face aerul din interior atât de uscat încât pot rezulta efecte negative asupra sănătăţii. De exemplu, dacă aerul exterior cu o temperatură de 0°C şi 60% umiditate relativă intră într-o cameră şi este încălzit la 20°C, umiditatea sa relativă

scade la mai puţin de 20%. Chiar dacă aerul exterior (temperatura 0°C) ar avea un nivel de umiditate de 100% şi ar fi încălzit până la 20°C, umiditatea sa relativă ar scădea totuşi la mai puţin de 30%. În ambele cazuri, devine necesară creşterea umidităţii cât mai curând posibil pentru a obţine condiţii sănătoase şi confortabile. Acest lucru se poate face prin reglarea umidităţii care este eliberată de pereţi, tavane, podele şi mobilier (vezi 1.14).

Efectul de echilibrare al lutului asupra umidităţii Materialele poroase au capacitatea de a absorbi umiditatea din aerul ambiant şi de a desorbi umiditatea în aer, realizând astfel echilibrul umidităţii în climatele interioare. Conţinutul de umiditate de echilibru depinde de temperatura şi umiditatea aerului ambiant (vezi p. 29) şi ilustraţia 2.29). Eficacitatea acestui proces de echilibrare depinde, de asemenea, de viteza de absorbţie sau desorbţie. Experimentele efectuate la BRL arată, de exemplu, că primul strat de 1,5 cm grosime al unui zid de cărămidă de noroi este capabil să absoarbă aproximativ 300 g de

apă pe m2 de suprafaţă a peretelui în 48 de ore dacă umiditatea aerului ambiental creşte brusc de la 50% la 80%. Cu toate acestea, calcarul şi lemnul de pin de aceeaşi grosime absorb doar aproximativ 100 g/m2, tencuiala 26 până la 76 g/m2, iar cărămida coptă doar 6 până la 30 g/m2 în aceeaşi perioadă (1,15). Curbele de absorbţie de pe ambele părţi ale pereţilor netencuiţi cu grosimea de 11,5 cm din diferite materiale pe parcursul a 16 zile sunt prezentate în 1.16. Rezultatele arată că cărămizile de noroi absorb de 50 de ori mai multă umiditate decât cărămizile solide coapte la temperaturi ridicate. Sunt prezentate ratele de absorbţie ale probelor cu grosimea de 1,5 cm, când umiditatea a crescut de la 30% la 70%

Influenţa grosimii unui sol argilos asupra ratelor de absorbţie este prezentată în 1.18. Aici vedem că atunci când umiditatea creşte brusc de la 50% la 80%, numai cei 2 cm de sus absoarbe umiditatea în primele 24 de ore şi că doar stratul superior de 4 cm grosime este activ în primele patru zile. Vopselele de var, cazeină şi lipici celulozic reduc această absorbţie doar puţin, în timp ce straturile de latex dublu şi ulei de in un singur pot reduce ratele de absorbţie la 38% şi, respectiv, 50%, aşa cum se vede în 1.19. Într-o încăpere cu suprafaţa podelei de 3 x 4 m, înălţimea de 3 m şi suprafaţa peretelui de 30 m2 (după scăderea uşilor şi ferestrelor), dacă umiditatea aerului din interior ar fi crescută de la 50% la 80%, pereţii din cărămidă de nămol netencuiţi ar absorbi aproximativ 9 litri de apă în 48 de ore.

(Dacă umiditatea ar fi scăzută de la 80% la 50%, aceeaşi cantitate ar fi eliberată). Aceiaşi pereţi, dacă ar fi construiti din cărămizi solide coapte, ar absorbi doar aproximativ 0,9 litri de apă în aceeaşi perioadă, ceea ce înseamnă că sunt nepotriviţi pentru echilibrarea umidităţii încăperilor.

Măsurătorile efectuate pe o perioadă de cinci ani în diferite încăperi ale unei case construite în Germania în 1985, ai cărei pereţi exteriori şi interiori erau toţi construiti din pământ, au arătat că umiditatea relativă a rămas aproape constantă de-a lungul anilor, variind de la 45% la 55%. Proprietarul dorea un nivel de umiditate mai mare de 50% până la 60% doar în dormitor. A fost posibil să se menţină acest nivel mai înalt (care este mai sănătos pentru persoanele care au tendinţa de a face răceli sau fumuri de fum) prin utilizarea umidităţii

mai ridicate a băii adiacente. Daca umiditatea din dormitor a scazut prea mult, usa de la baie era deschisa dupa dus, reincarcand peretii dormitorului cu umiditate.

Anxietatea că şoarecii sau insectele ar putea trăi în pereţii de pământ este nefondată atunci când aceştia sunt solide. Insectele pot supravieţui doar cu condiţia să existe lacune, ca în pereţii „de ciuperci". În America de Sud, boala Chagas, care duce la orbire, provine de la insectele care trăiesc în pereţii de pădure. Golurile pot fi evitate prin construirea de pereţi din pământ batut sau cărămizi de noroi cu rosturi de mortar de noroi umplute în totalitate. Mai mult, dacă pământul conţine prea mulţi aditivi organici, ca în cazul argilei paioase uşoare, cu o densitate mai mică de 600 kg/m3, insectele mici precum păduchii de lemn pot trăi în paie şi o pot ataca.

Percepţiile obişnuite conform cărora suprafeţele de argilă sunt greu de curăţat (în special în bucătării şi băi) pot fi tratate prin vopsirea lor cu cazeină, var-cazeină, ulei de in sau alte acoperiri, ceea ce le face neabrazive. După cum se explică la p. 132, băile cu pereţi de pământ sunt mai igienice decât cele cu gresie smălţuită, deoarece pământul absoarbe rapid umiditatea ridicată, inhibând astfel creşterea ciupercilor.

Nota

Pentru conversia valorilor metrice în cele imperiale, vezi pagina 197.

Influenţa acoperirilor asupra tencuielilor argiloase cu o grosime de 1,5 cm, expuse pe o singură parte, la o temperatură de 21°C (argilă 4%, nămol 25%, nisip 71%) după o creştere bruscă a umidităţii de la 50% la 80%. Grosimea acoperirii este de 100 ± 10 p,m.

Influenţa diferitelor agregate asupra absorbţiei umidităţii. Aceleaşi condiţii ca cele menţionate la 1.19

Prejudecăţi împotriva pământului ca material de construcţie

Din cauza ignoranţei, prejudecăţile împotriva lutului sunt încă larg răspândite. Mulţi oameni au dificultăţi în a concepe că un material de construcţie natural, cum ar fi pământul, nu trebuie prelucrat şi că, în multe cazuri, excavarea pentru fundaţii oferă un material care poate fi utilizat direct în construcţie.

Următoarea reacţie a unui zidar care a trebuit să construiască un zid de chirpici este caracteristică: „Este ca în epoca medievală; acum trebuie să ne murdărim mâinile cu tot acest noroi". Acelaşi zidar, arătându-şi bucuros mâinile după ce a lucrat cu chirpici timp de o

săptămână, a spus: „Ați văzut vreodată mâini atât de netede ale zidarului? Chirpicurile sunt foarte distractive de manevrat, deoarece nu există colțuri ascuțite”.

Proprietățile pământului ca material de construcție

Compoziție

General

Loam este un produs al eroziunii de la roca din scoarța terestră. Această eroziune are loc în principal prin măcinarea mecanică a rocii prin mișcarea ghețarilor, a apei și a vântului, sau prin dilatarea și contracția termică a rocii sau prin extinderea apei înghețate în crăpăturile rocii. Datorită acizilor organici predominanți în plante, în plus, reacțiile chimice datorate apei și oxigenului duc și la eroziunea rocilor. Compoziția și proprietățile variate ale lutului depind de condițiile locale. Loamurile muntoase pietrișate, de exemplu, sunt mai potrivite pentru pământul batut (cu condiția să conțină suficientă argilă), în timp ce argilourile de pe malul râului sunt adesea mai nămoloase și, prin urmare, sunt mai puțin rezistente la intemperii și mai slabe la compresie.

Loam este un amestec de argilă, nămol și nisip și, uneori, conține agregate mai mari, cum ar fi pietriș și pietre. Știința ingineriei își definește particulele în funcție de diametru: particulele cu diametre mai mici de 0,002 mm sunt denumite argilă, cele între 0,002 și 0,06 mm sunt numite nămol, iar cele între 0,06 și 2 mm sunt numite nisip. Particulele cu diametru mai mare sunt denumite pietriș și pietre.

La fel ca cimentul din beton, argila acționează ca un liant pentru toate particulele mai mari din argilă. Nămolul, nisipul și agregatele constituie materiale de umplutură în argilă. În funcție de care dintre cele trei componente este dominantă, vorbim de un lut argilos, mâlos sau nisipos. În sol tradițional

mecanică, dacă conţinutul de argilă este mai mic de 15% din greutate, solul este denumit sol argilos slab. Dacă este mai mare de 30% din greutate, este numit un sol argilos bogat. Componentele care formează mai puţin de 5% din total în greutate nu sunt menţionate la denumirea solurilor. Astfel, de exemplu, un sol bogat mâlos, nisipos, slab argilos conţine mai mult de 30% nămol, 15% până la 30% nisip şi mai puţin de 15% argilă cu mai puţin de 5% pietriş sau rocă. Totuşi, în ingineria construcţiilor de pământ, această metodă de denumire a solurilor este mai puţin precisă deoarece, de exemplu, un argil cu 14% argilă care s-ar numi argilos slab în mecanica solului, ar fi considerat un sol argilos bogat din punctul de vedere al construcţiei pământului.

Lut

Argila este un produs al eroziunii feldspatului şi a altor minerale. Feldspatul conţine oxid de aluminiu, un al doilea oxid de metal şi dioxid de siliciu. Unul dintre cele mai comune tipuri de feldspat are formula chimică $Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 6SiO_2$. Dacă compuşii de potasiu uşor solubili sunt dizolvaţi în timpul eroziunii, atunci se formează argila numită caolinit, care are formula $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \text{ -}2H_2O$. Un alt mineral argilos comun este Montmorillonitul, a cărui formulă este $Al_2O_2 \cdot 4SiO_2$. Există, de asemenea, o varietate de minerale argiloase mai puţin obişnuite, cum ar fi Illite. Structura acestor minerale este prezentată în 2.2.

Minerale de argilă se găsesc şi în amestec cu alţi compuşi chimici, în special cu oxid de fier hidratat ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) şi alţi compuşi de fier, dând argilei o culoare caracteristică galbenă sau roşie. Compuşii de mangan conferă o culoare maro; compuşii de var şi magneziu dau alb, în timp ce substanţele organice dau o culoare maro intens sau negru.

Mineralele argiloase au de obicei o structură cristalină lamelară hexagonală. Aceste lamele constau din diferite straturi care sunt de obicei formate în jurul miezurilor de siliciu sau aluminiu. În cazul siliciului, acestea sunt înconjurate de oxigenări; în cazul aluminiului, prin grupări hidroxil (ioni) (-HO). Straturile de oxid de siliciu au cel mai puternic negativ

sarcină, care le înzestrează cu o forţă mare de legare interlamelară (vezi 2.3). Deoarece fiecare strat de hidroxid de aluminiu este conectat la un strat de oxid de siliciu, caolinitul cu două straturi are o capacitate scăzută de legare a ionilor, în timp ce cu mineralul cu trei straturi Montmorillonit, un strat de hidroxid de aluminiu este întotdeauna intercalat între două straturi de oxid de siliciu, afişând astfel o capacitate mai mare de legare a ionilor. Majoritatea mineralelor argiloase au cationi interschimbabili. Forţa de legare şi rezistenţa la compresiune a lutului depind de tipul şi cantitatea de cationi.

Mâl, nisip şi pietriş

Proprietăţile mâlului, nisipului şi pietrişului sunt total diferite de argilă. Sunt pur şi simplu agregate lipsite de forţe de legare şi se formează fie din pietre erodate, caz în care au colţuri ascuţite, fie prin mişcarea apei, caz în care sunt rotunjite.

Distribuţia granulometriei

Loam se caracterizează prin componentele sale: argilă, nămol, nisip şi pietriş. Proporţia componentelor este reprezentată în mod obişnuit pe un grafic de tipul prezentat în 2.1. Aici, axa verticală reprezintă greutatea în procent din totalul fiecărei mărimi a granulelor, care la rândul său este reprezentată pe axa orizontală folosind o scară logaritmică. Curba este trasată cumulativ, fiecare dimensiune a granulelor incluzând toate componentele fine.

Graficul superior caracterizează un lut argilos bogat cu 28% argilă, 35% nămol, 33% nisip şi 4% pietriş. Graficul din mijloc arată un lut nisipos bogat cu 76% lut, iar graficul de jos un lut nisipos bogat care conţine 56% nisip. O altă metodă pentru descrierea grafică a argintului compus din particule nu mai mari de 2 mm este prezentată în 2.4. Aici

procentul de argilă, nămol şi nisip poate fi trasat pe cele trei axe ale unui triunghi şi citit în consecinţă. De exemplu, argila marcată S III în acest grafic este compus din 22% argilă, 48% nămol şi 30% nisip.

Constituenti organici

Solul săpat de la adâncimi mai mici de 40 cm conţine de obicei materie vegetală şi humus (produsul plantelor putrezite), care constă în principal din particule coloidale şi este acid (valoarea pH-ului mai mică de 6). Pământul ca material de construcţie ar trebui să fie lipsit de humus şi materie vegetală. În anumite condiţii, pot fi adăugate materii vegetale precum paiele, cu condiţia să fie uscate şi să nu existe pericolul de deteriorare ulterioară (vezi p. 83).

Apă

Apa activează forţele de legare ale lutului. Pe lângă apa liberă, există trei tipuri diferite de apă în argilă: apă de cristalizare (apa structurală), apă absorbită şi apă de capilaritate (apa de pori). Apa de cristalizare este legată chimic şi se poate distinge numai dacă argila este încălzită la temperaturi cuprinse între 400°C şi 900°C. Apa absorbită este legată electric de mineralele argiloase. Apa cu capilaritate a pătruns în porii materialului prin acţiune capilară. Apa absorbită şi cea capilară sunt eliberate atunci când amestecul este încălzit la 105°C. Dacă argila uscată se udă, se umflă deoarece apa se strecoară între structura lamelară, înconjurând lamelele cu o peliculă subţire de apă. Dacă această apă se evaporă, distanţa interlamelară se reduce, iar lamelele se aranjează în paralel datorită forţelor de atracţie electrică. Argila capătă astfel o „forţă de legare" (vezi p. 32), dacă se află în stare plastică, şi rezistenţă la compresiune şi tracţiune după uscare.

Porozitate

Gradul de porozitate este definit de volumul total al porilor din argilă. Mai importante decât volumul porilor sunt dimensiunile porilor. Cu cât porozitatea este mai mare, cu atât difuzia vaporilor este mai mare şi rezistenţa la îngheţ este mai mare.

Suprafaţă specifică

Suprafaţa specifică a unui sol este suma tuturor suprafeţelor particulelor. Nisipul grosier are o suprafaţă specifică de aproximativ 23 cm2/g, nămol aproximativ 450 cm2/g şi argilă, de la 10 m2/g (Caolinit) la 1000 m2/g (Montmorillonit). Cu cât suprafaţa specifică a argilei este mai mare, cu atât sunt mai mari forţele interne de coeziune care sunt relevante pentru forţa de legare, precum şi pentru rezistenţa la compresiune şi la tracţiune.

Densitate

Densitatea solului este definită de raportul dintre masa uscată şi volum (inclusiv porii). Solul proaspăt săpat are o densitate de 1000 până la 1500 kg/m3. Dacă acest pământ este comprimat, ca în terasamentele batonate sau în blocuri de sol, densitatea lui variază de la 1700 la 2200 kg/m3 (sau mai mult, dacă conţine cantităţi considerabile de pietriş sau agregate mai mari).

Compactabilitate

Compactabilitatea este capacitatea pământului de a fi compactat prin presiune statică sau compactare dinamică, astfel încât volumul acestuia să fie redus. Pentru a obţine compactarea maximă, pământul trebuie să aibă un conţinut specific de apă, aşa-numitul „conţinut optim de apă", care permite mutarea particulelor într-o configuraţie mai densă, fără prea multă frecare. Aceasta este măsurată prin testul Proctor (vezi p. 44).

Teste utilizate pentru analiza compoziţiei lutului

Pentru a determina adecvarea unui lut pentru o aplicaţie specifică, este necesar să cunoaşteţi compoziţia acestuia. Următoarea secţiune descrie teste de laborator standardizate şi teste simple pe teren care sunt utilizate pentru a analiza compoziţia argintului.

Analiza combinată de cernere şi sedimentare

Proporţia de agregate grosiere (nisip, pietriş şi pietre) este relativ uşor de distins prin cernere. Cu toate acestea, proporţia de agregate fine poate fi stabilită numai prin sedimentare. Acest test este specificat în detaliu în standardul german DIN 18123.

Conţinut de apă

Cantitatea de apă dintr-un amestec de argilă poate fi determinată cu uşurinţă cântărind proba şi apoi încălzind-o într-un cuptor la 105°C. Dacă greutatea rămâne constantă, amestecul este uscat, iar diferenţa dintre cele două greutăţi dă greutatea întregii ape nelegate chimic. Acest conţinut de apă este exprimat ca procent din greutatea amestecului uscat.

Teste simple pe teren

Următoarele teste nu sunt foarte exacte, dar pot fi efectuate la faţa locului relativ rapid şi sunt de obicei suficient de exacte pentru a estima compoziţia lutului şi pentru a stabili dacă amestecul este acceptabil pentru o anumită aplicaţie.

Test de miros

Argila pură este inodoră, dar capătă un miros de mucegai dacă conţine humus sau materie organică deteriorată.

Testul de ronţăit

Un vârf de pământ este ciugulit uşor. Solul nisipos produce o senzaţie neplăcută, spre deosebire de solul mâlos, care dă o senzaţie mai puţin inacceptabilă. Solul argilos, în schimb, dă o senzaţie lipicioasă, netedă sau făinoasă.

Test de spălare

Un eşantion de sol umed este frecat între mâini. Dacă boabele pot fi simţite distinct, înseamnă un sol nisipos sau pietriş. Dacă proba este lipicioasă, dar mâinile pot fi frecate curate când sunt uscate, acest lucru indică un sol mâlos. Dacă proba este lipicioasă, astfel încât este necesară apă pentru curăţarea mâinilor, aceasta indică un sol argilos.

Test de tăiere

O mostră umedă de pământ este transformată într-o minge şi tăiată cu un cuţit. Dacă suprafaţa tăiată este strălucitoare, înseamnă că amestecul are un conţinut ridicat de argilă; dacă este plictisitoare, indică un conţinut ridicat de nămol.

Test de sedimentare

Amestecul se amestecă cu multă apă într-un borcan de sticlă. Cele mai mari particule se depun în partea de jos, cele mai fine deasupra. Această stratificare permite estimarea proporţiei constituenţilor. Este greşit să afirmăm că înălţimea fiecărui strat corespunde proporţiei de argilă, mâl, nisip şi pietriş, aşa cum susţin mulţi autori (de ex. CRATerre, 1979, p. 180; Oficiul Internaţional al Muncii, 1987, p. 30; Houben, Guillaud, 1984, p. 1, 498, p. 498, Stul; Centrul Naţiunilor Unite pentru Aşezările Umane, 1992, p. 7) (vezi 2.6).

Mai multe experimente la Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor (BRL), Universitatea din Kassel, au arătat că marja de eroare ar putea fi de până la 1750%, aşa cum se vede în 2.5 şi 2.8. De fapt, se pot distinge doar straturile succesive la schimbări bruşte ale distribuţiei granulometrice, iar acestea pot să nu coincidă cu limitele definite efectiv între argilă şi nămol şi între nămol şi nisip (vezi 2.7).

Test de cădere a mingii

Amestecul de testat trebuie să fie cât mai uscat posibil, dar suficient de umed pentru a fi format într-o minge de 4 cm în diametru.

Când această minge este aruncată de la o înălțime de 1,5 m pe o suprafață plană, pot apărea diferite rezultate, așa cum se arată în 2.9. Dacă bila se aplatizează doar puțin și prezintă crăpături puține sau deloc, precum proba din stânga, aceasta are o forță de legare mare datorită conținutului ridicat de argilă. Usu-

2.5

Distribuția granulometrică a solului a două lutoase testate în testul de sedimentare

Test de sedimentare (CRATerre, 1979)

2.8 Test de sedimentare

ally acest amestec trebuie diluat prin adăugarea de nisip. Dacă testul arată ca proba din dreapta, are un conținut foarte scăzut de argilă. Forța sa de legare este atunci de obicei insuficientă și nu poate fi folosit ca material de construcție. În cazul celei de-a treia probe din stânga, amestecul are o forță de legare relativ slabă, dar compoziția sa îi permite de obicei să fie utilizat pentru cărămizi de noroi (chirpici) și pământ batut.

Test de consistență

Pământul umed se formează într-o minge de 2 până la 3 cm în diametru. Această minge este rulată într-o formă subțire

Dacă firul se rupe sau dezvoltă fisuri mari înainte de a ajunge la 3 mm diametru, amestecul este umezit încet până când firul se rupe numai când diametrul său ajunge la 3 mm.

Acest amestec este apoi format într-o bilă. Dacă acest lucru nu este posibil, atunci conținutul de nisip este prea mare și cel de argilă prea scăzut. Dacă mingea poate fi zdrobită între degetul mare și arătător doar cu multă forță, conținutul de argilă este mare și trebuie diluat prin adăugarea de nisip. Dacă mingea se sfărâmă foarte ușor, atunci argila conține puțină lut.

Test de coeziune (test panglică)

Proba de lut ar trebui să fie suficient de umedă pentru a fi rulată într-un fir de 3 mm în diametru, fără a se rupe. Din acest fir se formează și se ține în palmă o panglică de aproximativ 6 mm grosime și 20 mm lățime. Apoi, panglica este alunecată de-a lungul palmei pentru a depăși cât mai mult posibil până când se rupe (vezi 2.10).

Dacă lungimea liberă înainte de rupere este mai mare de 20 cm, atunci are o forţă de legare mare, implicând un conţinut de argilă prea mare pentru construcţie. Dacă panglica se rupe după doar câţiva centimetri, amestecul are prea puţină lut. Acest test este inexact, iar la BRL se ştia că are marje de eroare mai mari de 200% dacă lutul nu era bine frământat şi grosimea şi lăţimea panglicii variau.

Din acest motiv, a fost dezvoltat un nou test, mai precis, în care s-a realizat un profil de 20 mm lăţime şi 6 mm înălţime prin apăsarea lutului cu degetele în canelura dintre două margini. Suprafaţa se netezeşte prin rulare cu o sticlă (vezi 2.11). Pentru a preveni lipirea profilului de argilă, baza este căptuşită cu o bandă subţire de plastic sau hârtie uleioasă. Lungimea panglicii, când se rupe sub propria greutate, se măsoară împingând-o încet peste o margine rotunjită cu o rază de curbură de 1 cm (2.11, dreapta). Pentru fiecare tip de sol, s-au prelevat cinci probe şi s-au măsurat lungimile de panglică în punctul de rupere.

Cele mai mari lungimi de ruptură din fiecare set au fost reprezentate în 2.12, în raport cu legătura

forţa de acţionare conform testului standard DIN 18952 (vezi p. 32), cu o uşoară modificare: aici s-a luat în considerare şi rezistenţa maximă a cinci probe.

Acest lucru se datorează faptului că s-a constatat că valorile mai mici se datorau de obicei amestecării insuficiente, plasticităţii inexacte sau altor greşeli de preparare. Pentru a garanta că diferite amestecuri de argilă sunt comparabile, consistenţa aleasă a probelor a fost definită printr-un diametru de 70 mm (în loc de 50 mm) al zonei circulare plane, care se formează dacă o minge de testare de 200 g greutate este scăpată de la o înălţime de 2 m. (Cu amestecuri de argilă nisipoasă cu conţinut redus de argilă, un diametru de 50 mm nu este atins.)

Test de acid

Loamurile care conţin var au în mod normal un aspect alb, prezintă o forţă de legare scăzută şi, prin urmare, sunt inadecvate pentru construcţia de pământ. Pentru a defini conţinutul de var, se adaugă o picătură dintr-o soluţie 20% de HCI folosind o tijă de sticlă sau de lemn. În cazul luturilor cu conţinut de var, CO2 se produce conform ecuaţiei CaCO3 + 2HCl = CaCl2 + CO2 + H2O. Această producţie de CO2 este observabilă datorită eflorescenţei care rezultă; dacă nu există eflorescenţă, conţinutul de var este mai mic de 1%. Dacă există o eflorescenţă slabă, scurtă, conţinutul de var este între 1% şi 2%; dacă eflorescenţa este semnificativă, deşi scurtă, conţinutul de var este între 3% şi 4%; iar dacă eflorescenţa este puternică şi de lungă durată, conţinutul de var este mai mare de 5% (Voth, 1978, p. 59).

Trebuie remarcat faptul că un lut întunecat, fără var, cu un conţinut ridicat de humus, ar putea prezenta şi acest fenomen.

Efectele apei

Dacă argila devine umedă, se umflă şi se schimbă de la o stare solidă la una plastică.

Umflare şi micşorare

Umflarea lutului la contactul cu apa şi contracţia acestuia prin uscare este dezavantajoasă pentru utilizarea sa ca material de construcţie. Umflarea apare numai dacă argila intră în contact direct cu atât de multă apă încât îşi pierde starea solidă. Absorbţia umidităţii din aer, însă, nu duce la umflături.

Cantitatea de umflare şi contracţie depinde de tipul şi cantitatea de argilă (în cazul argilei Montmorillonite acest efect este mult mai mare decât în cazul caolinitului şi illitului), precum şi de distribuţia granulelor de nămol şi nisip. Experimentele au fost efectuate la BRL folosind probe de 10 x 10 x 7 cm din diferite amestecuri de argilă care au fost înmuiate cu 80 cm3 de apă şi apoi uscate într-un cuptor la 50°C pentru a studia fisurile de contracţie (2.13). Blocurile necoapte fabricate industrial (2.13, stânga sus), a căror curbă de granularitate este prezentată în 2.1 (stânga sus), prezintă fisuri de contracţie. Un amestec similar cu acelaşi fel şi cantitate de argilă, dar cu distribuţie „optimizată" a nămolului şi a nisipului, nu a prezentat aproape nicio fisură după uscare (2.13, dreapta sus). Cărămida de noroi din sol mâlos (2.13, dreapta jos) (curba de granularitate prezentată în 2.1, mijloc) prezintă câteva fisuri foarte fine, în timp ce cărămida de noroi din sol nisipos (2.13, stânga jos) (curba de granularitate prezentată în 2.1, jos) nu prezintă deloc fisuri. La p. 39 se explică modul în care contracţia ar putea fi minimizată prin schimbarea distribuţiei cerealelor.

Determinarea contracţiei liniare

Înainte de a putea fi comparat raportul de contracţie a diferitelor mostre de argilă, acestea trebuie să aibă o plasticitate comparabilă.

Standardul german DIN 18952 descrie următorii paşi necesari pentru a obţine această rigiditate standard:

2.10

0 20 40 60 80 100

Lungimea de rupere a panglicii (cm)

2.12

Test cu panglică

Test de coeziune dezvoltat la BRL

Forţa de legare a diferitelor argile de consistenţă egală în raport cu lungimile lor de rupere, testată conform testului de coeziune BRL

Amestecul de lut uscat este zdrobit şi cernut pentru a elimina toate particulele cu diametre mai mari de 2 mm.

Aproximativ 1200 cm3 din acest material sunt uşor umeziţi şi bătuţi cu ciocanul pe o suprafaţă plană pentru a produce o bucată continuă (ca o clătită groasă).

Acesta este apoi tăiat în fâşii de 2 cm lăţime, aşezat margine la margine atingându-se, apoi ciocănit din nou. Această procedură se repetă până când partea inferioară prezintă o structură uniformă.

Argila cu conţinut ridicat de argilă trebuie apoi să se odihnească timp de douăsprezece ore, iar una cu conţinut scăzut de argilă timp de aproximativ şase ore, astfel încât conţinutul de apă să fie distribuit în mod egal în întreaga probă.

Din acest amestec se bat 200 g, pentru a se compacta intr-o sfera.

Această minge este aruncată de la o înălţime de

2 m pe o suprafaţă plană.

7 Dacă diametrul suprafeţei aplatizate astfel formate este de 50 mm, se spune că este atinsă rigiditatea standard. Diferenţa dintre cel mai mare şi cel mai mic diametru al acestui disc nu trebuie să fie mai mare de 2 mm. În caz contrar, întregul proces trebuie repetat până când se atinge diametrul exact din testul de cădere. Dacă diametrul discului este mai mare de 50 mm, amestecul trebuie să fie uşor uscat şi întregul proces se repetă până când se obţine diametrul exact.

8. Dacă diametrul discului este mai mic de 50 mm, atunci trebuie adăugate câteva picături de apă.

Cu această rigiditate standard, testul de contracţie trebuie executat după cum urmează:

Materialul este presat şi bătut în mod repetat de o bucată de lemn

2 x 2 cm în secţiune în forma prezentată în 2.14, care se sprijină pe o suprafaţă plană.

Trebuie făcute trei mostre şi formularul trebuie scos deodată.

Semnele şablonului la o distanţă de 200 mm se realizează cu un cuţit.

Cele trei probe sunt uscate timp de trei zile într-o cameră. Acestea sunt apoi încălzite la 60°C într-un cuptor până când nu se mai poate măsura contracţia. DIN menţionează că acestea urmează să fie uscate pe o placă de sticlă unsă cu ulei. BRL sugerează căptuşirea plăcii cu un strat subţire de nisip pentru a face procesul de uscare mai uniform şi pentru a evita frecarea.

Contracţia medie a celor trei probe în raport cu lungimea de 200 mm dă raportul de contracţie liniar în procente. Dacă contracţia unui eşantion diferă cu mai mult de 2 mm faţă de celelalte două, eşantionul trebuie refăcut.

Plasticitate

Loam are patru stări de consistenţă: lichid, plastic, semisolid şi solid. Limitele acestor state au fost definite de omul de ştiinţă suedez Atterberg.

Limita lichidului

Limita lichidului (LL) defineşte conţinutul de apă la limita dintre starea lichidă şi cea plastică. Se exprimă în procente şi se determină urmând paşii explicaţi mai jos folosind instrumentul Casagrande prezentat în 2.15:

Amestecul trebuie să rămână în apă pentru o perioadă îndelungată (până la patru zile dacă conţinutul de argilă este mare) şi apoi presat printr-o sită cu ochiuri de 0,4 mm.

50 până la 70 g din acest amestec într-o consistenţă pastoasă se pun în vasul aparatului şi se netezeşte suprafaţa acestuia. Grosimea maximă în centru ar trebui să fie de 1 cm.

Apoi se face o canelură folosind un dispozitiv special, care este întotdeauna ţinut perpendicular pe suprafaţa vasului.

Prin rotirea mânerului cu o viteză de două cicluri pe secundă, bolul este ridicat şi

scăpat până când canelura este închisă pe o lungime de 10 mm.

Se numără numărul de mişcări şi se ia din centru o probă de 5 cm3 pentru a determina conţinutul de apă. Când canelura se închide la 25 de curse, conţinutul de apă al amestecului este egal cu limita lichidului.

Este foarte consumator de timp pentru a schimba continutul de apa in mod repetat pana cand canelura se inchide la exact 25 de miscari. O metodă specială descrisă în standardul german DIN 18122 permite testului să ruleze cu patru conţinuturi diferite de apă dacă numărul de curse este între 15 şi 40. Ilustraţia 2.16 arată cum se obţine limita de lichid folosind aceste patru teste. Cele patru valori sunt notate într-o diagramă a cărei coordonată orizontală arată numerele cursei într-o scară logaritmică, iar coordonata verticală arată conţinutul de apă ca procent. Limita lichidului se obţine prin trasarea unei linii prin cele patru valori şi citirea valorii interpolate la coordonata a 25 de curse.

Limita de plastic

Limita plastică (PL) este conţinutul de apă, exprimat în procente, la limita dintre stările plastice şi semisolide. Se determină prin următoarea procedură: acelaşi amestec care a fost utilizat pentru definirea limitei de lichid este rulat manual pe o suprafaţă absorbantă de apă (carton, lemn de moale sau material similar) în fire mici de 3 mm diametru. Apoi firele sunt turnate într-o minge şi rulate din nou. Această procedură se repetă până când firele încep să se sfărâme la un diametru de 3 mm. Ca. Din acest amestec se scot 5 g şi se cântăresc imediat, apoi se usucă pentru a obţine conţinutul de apă. Acest test se repetă de trei ori. Valoarea medie a trei probe care nu se abate cu mai mult de 2% este identică cu limita plastică.

Deoarece limitele lichidului şi plasticului au fost definite folosind un amestec care conţine doar particule mai mici de 0,4 mm, rezultatele testului trebuie corectate dacă boabele mai mari au fost cernute mai devreme. Dacă acea parte este mai mică de 25% din greutatea uscată a întregului amestec, atunci conţinutul de apă poate fi calculat folosind următoarea formulă:

W0= 1-A

unde W0 este conţinutul de apă calculat, L conţinutul de apă determinat LL sau PL şi A greutatea boabelor mai mari de 0,4 mm exprimată ca procent din greutatea uscată a amestecului total.

Indicele de plasticitate

Diferenţa dintre limita lichidă şi limita plastică se numeşte indice de plasticitate (PI). Tabelul din 2.17 oferă câteva valori tipice pentru LL, PL şi PI.

Număr de consistenţă

Numărul de consistenţă (C) poate fi calculat pentru orice conţinut de apă existent (W) al etapei de plastic folosind următoarea formulă:

C = LL - W _ LL - W

C LL - PL PI

Numărul de consistenţă este 0 la limita lichidului şi 1 la limita plastică.

Rigiditate standard

Întrucât definiţia limitei plastice în Atterberg nu este foarte exactă, Niemeyer propune „rigiditatea standard" ca bază pentru compararea amestecurilor de consistenţă egală. Metoda de obţinere a acestei rigidităţi este descrisă la p. 24.

Criză

Lucrabilitatea amestecurilor de mortar este definită de slump. Acest lucru poate fi specificat printr-o metodă descrisă în standardele germane DIN 1060 (Partea 3) sau DIN 1048 (Partea 1). Aici, mortarul este turnat printr-o pâlnie standard pe o placă care este ridicată şi

aruncată printr-un tip și un număr definit de curse. Diametrul prăjiturii astfel formate se măsoară în centimetri și se numește slump.

Derivarea limitei de lichid prin metoda multipunct conform

conform standardului german DIN 18122

Indicele de plasticitate al luturilor (după Voth, 1978)

Ansamblu de testare pentru a obține valorile „w" ale mostrelor de argilă (Boemans, 1990)

2.16

2.17

lut lut (1900 kg/m3) (3)

Loam argilos (1940 kg/m3) (3) Loam mineral ușor (470 kg/m3) (3) Loam ușor mineral (700 kg/m3) (3) Loam ușor pai (450 kg/m3) (3) Loam ușor pai (850 kg/m3) (3) Loam ușor paioase) (150 kg/m3) (1150 kg/m3)

axial de molid (2)

tangențială de molid (2)

Beton de ciment (2290 kg/m3) (1)

Caramida tubulara (1165 kg/m3) (1)

Caramida solida (1750 kg/m3) (1)

2.19

Limită de contracție

Limita de contracție (SL) este definită ca limita dintre starea semisolidă și solidă. Este limita la care contracția încetează să apară. Cu solul argilos, poate fi identificat optic atunci când

culoarea închisă a amestecului umed devine o nuanţă mai deschisă din cauza evaporării apei în pori. Totuşi, aceasta nu este o metodă exactă de măsurare.

Acţiune capilară

Mişcarea apei

Toate materialele cu structuri poroase deschise, cum ar fi argila, sunt capabile să stocheze şi să transporte apa în capilarele lor. Prin urmare, apa se deplasează întotdeauna din regiuni cu umiditate mai mare în regiuni cu umiditate mai scăzută. Capacitatea apei de a răspunde la aspirație în acest fel este numită „capilaritate", iar procesul de transport al apei „acțiune capilară".

Cantitatea de apă (W) care poate fi absorbită într-o anumită perioadă de timp este definită prin formula:

W = w Vt [kg/m2]

unde w este coeficientul de absorbție a apei măsurat în kg/m2h0,5 şi t, timpul în ore.

Determinarea coeficientului de absorbţie a apei

Conform standardului german DIN 52617, coeficientul de absorbţie a apei (w) se obţine în felul următor: pe o suprafaţă plană se aşează un cub de lut de probă şi se scufundă în apă la o adâncime de aproximativ 3 mm, iar greutatea acestuia se măsoară periodic. Coeficientul (w) se calculează apoi prin formula:

w = V [kg/mh 5

unde W este creşterea în greutate pe unitatea de suprafaţă şi t timpul scurs în ore. Cu acest test, toate cele patru laturi ale cubului trebuie sigilate astfel încât să nu pătrundă apă de pe aceste suprafeţe şi doar suprafaţa inferioară este operaţională.

În cazul probelor de argilă, problemele sunt cauzate de zonele care se umflă şi se erodează sub apă în timp. BRL a dezvoltat o metodă specială pentru a evita acest lucru: pentru a preveni pătrunderea apei din lateral, precum şi umflarea şi deformarea cubului, probele sunt acoperite pe toate cele patru laturi cu o răşină poliesterică armată cu fibră de sticlă. Pentru a evita erodarea particulelor de pe suprafaţa scufundată, o hârtie de filtru este ataşată dedesubt şi lipită de părţile laterale din răşină poliesterică. Pentru a preveni deformarea lutului slăbit din partea inferioară în timpul cântăririi, se pune dedesubt un burete de 4 mm grosime peste o placă de sticlă acrilică (vezi 2.18). Un test cu o probă de cărămidă coaptă care compară ambele metode a arătat că metoda BRL a redus rezultatele cu doar 2%.

Coeficientul w al diferitelor argiluri testate împreună cu valorile w ale materialelor de construcţie obişnuite este listat în 2.19. Interesant este că probele de sol mâl au dat valori w

mai mari decât cele ale solului argilos. În mod surprinzător, comparaţia cu cărămizile coapte arată că lut are valori w care sunt mai mici cu un factor de 10.

Absorbţia apei în raport cu timpul este, de asemenea, foarte interesantă, aşa cum se arată în 2.20. Vizibil aici este efectul uimitor al unei creşteri extraordinare a absorbţiei cauzate de adăugarea de cantităţi mici de ciment.

Capacitatea apei capilare

Cantitatea maximă de apă care poate fi absorbită în comparaţie cu volumul sau masa probei se numeşte „capacitate capilară de apă" ([kg/m3] sau [m3/m3]). Aceasta este o valoare importantă atunci când se iau în considerare fenomenele de condensare din componentele clădirii. Ilustraţia 2.19 arată aceste valori cu valorile w.

Testul de penetrare a apei după Karsten În testul de penetrare a apei lui Karsten, un recipient sferic de sticlă cu diametrul de 30 mm şi un cilindru de măsurare ataşat este fixat cu adeziv siliconic pe proba de testat, astfel încât suprafaţa de testare în contact cu apa să fie de 3 cm2 (Karsten, 1983, vezi 2.21). The

Metoda uzuală de utilizare a apei este problematică, deoarece proba se dizolvă la articulaţie. Prin urmare, BRL a modificat metoda prin închiderea deschiderii recipientului de sticlă cu hârtie de filtru (vezi 2.22, dreapta). Rezultatele utilizând această metodă au fost comparabile cu cele care au folosit metoda dată în standardul german DIN 52617 (vezi 2.23).

Stabilitate în apă statică

Stabilitatea în apă statică poate fi definită după standardul german DIN 18952 (Partea 2), după cum urmează: o probă prismatică este scufundată la 5 cm adâncime în apă şi se măsoară timpul necesar pentru dezintegrarea părţii scufundate. Conform acestui standard, mostrele care se dezintegrează în mai puţin de 45 de minute nu sunt potrivite pentru construcţia de pământ. Dar acest test este inutil pentru practicile de construcţie a pământului, deoarece componentele pământului nu ar fi niciodată scufundate permanent în apă în niciun caz. Semnificativă în schimb este rezistenţa la apa curgătoare.

Rezistenta la apa curenta

În timpul construcţiei, elementele de construcţie din pământ sunt adesea expuse la ploaie şi sensibile la eroziune, mai ales dacă sunt încă umede. Este important, prin urmare, să se determine rezistenţa acestora la apa curgătoare. Pentru a compara gradele de rezistenţă ale diferitelor amestecuri de argilă, BRL a dezvoltat un aparat de testare capabil să testeze până la şase probe simultan (vezi 2.24). În acest aparat, jeturi de apă cu diametre de 4 mm sunt pulverizate pe probe dintr-un unghi de 45° şi cu o viteză de 3,24 m/sec, simulând cele mai proaste condiţii de ploaie din Europa.

Eroziunea prin ploaie şi îngheţ

Ilustraţia 2.25 prezintă două mostre: fiecare este prezentat înainte de testare (stânga) şi după trei ani de intemperii (dreapta). Amestecul de pământ al probei din dreapta conţinea 40% argilă; cel din stânga a fost amestecat cu nisip, reducând conţinutul de argilă la 16%. Ambele amestecuri au fost testate cu o consistenţă de mortar în straturi unice de 5 cm grosime. După uscare, au apărut fisuri mari de contracţie. Amestecul argilos a prezentat o contracţie de 11%, amestecul nisipos doar 3%. După trei ani de expunere la intemperii, solul argilos a prezentat un tip special de descuamare cauzată de îngheţ. Acest lucru s-a datorat fisurilor subţiri ale firului de păr care au apărut în timpul uscării şi prin care apa de ploaie a fost absorbită prin acţiune capilară. Când această apă îngheaţă, volumul ei creşte, provocând ruperea straturilor superioare. În zonele în care nu au fost găsite crăpături, acest efect nu a apărut. În plus, în aceste zone nu a fost observată nicio eroziune pluvială. Eşantionul din stânga nu arată acest tip de eroziune după trei ani. Aici vedem că o parte din argilă este spălată de ploaie, astfel încât fisura de contracţie orizontală este parţial umplută de aceste particule, dar nu se observă eroziunea prin îngheţ. Acest lucru se datorează faptului că nu au existat crăpături şi pentru că argila conţinea pori suficient de mari pentru a permite apei îngheţate să se extindă.

Testul a dus la următoarele concluzii:

lut nisipos are o rezistenţă redusă împotriva ploii, dar este rezistent la îngheţ atunci când nu are crăpături;

argila cu conţinut ridicat de argilă tinde să dezvolte crăpături şi, prin urmare, este susceptibilă la îngheţ. Dacă nu există crăpături, este aproape rezistent la ploaie.

Cu cât porozitatea este mai mare şi cu cât porii sunt mai mari, cu atât rezistenţa argintului la îngheţ este mai mare. Prin urmare, cărămizile de lut obişnuite extrudate produse într-o fabrică nu sunt rezistente la îngheţ şi nu trebuie folosite pe pereţii exteriori exteriori în climat cu îngheţ. În schimb, chirpici lucraţi manual din lut nisipos sunt de obicei rezistenti la îngheţ.

Perioada de uscare

Perioada în care argilul umed atinge conţinutul de umiditate de echilibru se numeşte „perioada de uscare". Conţinutul de apă în scădere şi contracţia crescândă a unui mortar de noroi nisipos uscat într-o cameră închisă la o temperatură de 20°C şi cu o umiditate relativă a aerului ambiant de 81% şi respectiv 44% este prezentată în 2.26. Cu 44% umiditate, uscarea a durat aproximativ 14 zile, în timp ce cu 81% umiditate, aproximativ 30. Ilustra-

2.27 prezintă procesul de uscare a diferitelor mostre de argilă în comparaţie cu alte materiale de construcţie. În acest test, efectuat la BRL, probe de mărimea cărămizii au fost scufundate în 3 mm de apă timp de 24 de ore şi apoi ţinute într-o cameră cu o temperatură de 23°C şi umiditate relativă de 50% în condiţii de aer calm. Interesant este că toate probele

de lut s-au uscat după 20 până la 30 de zile, în timp ce cărămizile de lut coapte, cărămizile nisip-var şi betonul nu s-au uscat nici după 100 de zile.

Efectele vaporilor

În timp ce argila în contact cu apa se umflă şi slăbeşte, sub influenţa vaporilor, absoarbe umiditatea, dar rămâne solidă şi îşi păstrează rigiditatea fără a se umfla. Loam, prin urmare, poate echilibra umiditatea aerului din interior, aşa cum este descris în detaliu la pp. 15-18.

Difuzia vaporilor

În climatele moderate şi reci, unde temperaturile interioare sunt adesea mai mari decât cele exterioare, există diferenţe de presiune a vaporilor între interior şi exterior, determinând deplasarea vaporilor din interior în exterior prin pereţi. Vaporii trec prin pereţi, iar rezistenţa materialului peretelui împotriva acestei acţiuni este definită de „coeficientul de rezistenţă la difuzia vaporilor". Este important să cunoaştem valoarea rezistenţei la vapori atunci când diferenţa de temperatură dintre interior şi exterior este atât de mare încât aerul din interior se condensează după ce a fost răcit în perete.

Standardul german DIN 52615 descrie procedura de testare precisă utilizată pentru determinarea acestor valori. Produsul lui m cu grosimea elementului de construcţie s dă rezistenţa specifică la difuzia vaporilor sd. Aerul liniştit are o valoare sd de 1. Ilustraţia 2.28 prezintă unele dintre valorile ^ determinate de BRL pentru diferite tipuri de argilă. Este interesant de remarcat faptul că lutul mâl are o valoare p,- cu aproximativ 20% mai mică decât cea a luturilor argiloase şi nisipoase, iar acel lut uşor cu argilă expandată cu o greutate de 750 kg/m3 are o valoare de 2,5 ori mai mare decât cea a lutului amestecat cu paie şi având aceeaşi densitate globală.

Capitolul 12 (p. 98) descrie modul în care pictura reduce pătrunderea vaporilor prin pereţi.

Conţinut de umiditate de echilibru

Fiecare material poros, chiar şi atunci când este uscat, are o umiditate caracteristică, numită „conţinut de umiditate de echilibru", care depinde de temperatura şi umiditatea aerului ambiental. Cu cât temperatura şi umiditatea sunt mai ridicate, cu atât mai multă apă este absorbită de material. Dacă temperatura şi umiditatea aerului sunt reduse, materialul va desorbi apa. Curbele de absorbţie ale diferitelor amestecuri de argilă sunt prezentate în 2.29. Valorile variază de la 0,4% pentru lut nisipos la 20% umiditate a aerului până la 6% pentru lut argilos sub 97% umiditate a aerului. Este interesant de observat că paiele de secară sub 80% umiditate prezintă un conţinut de umiditate de echilibru de 18%. Spre deosebire de aceasta, argila expandată, care este, de asemenea, utilizată pentru a obţine un lut uşor, atinge conţinutul de umiditate de echilibru la doar 0,3%. În 2.30, sunt prezentate patru valori ale amestecurilor de lut în comparaţie cu valorile altor materiale de construcţie obişnuite.

Aici, se poate observa că cu cât este mai mare conţinutul de argilă de argilă, cu atât este mai mare conţinutul său de umiditate de echilibru. În plus, trebuie menţionat că bentonita, care conţine 70% Montmorillonit, are un conţinut de umiditate de echilibru de 13% sub 50% umiditate, în timp ce conţinutul de umiditate de echilibru al caolinitului în aceleaşi condiţii este de doar 0,7%.

Graficul arată că blocurile de pământ mâl sau chirpici (nr. 4 pe grafic) ating un conţinut de umiditate de cinci ori mai mare decât un tencuială lut nisipoasă (nr. 9 pe grafic) la o umiditate relativă de 58%.

Trebuie remarcat faptul că pentru efectul de echilibrare a umidităţii al materialelor de construcţie, viteza proceselor de absorbţie şi desorbţie este mai importantă decât conţinutul de umiditate de echilibru, aşa cum este explicat la p.14.

Perioada de uscare a luturilor şi a altor materiale de construcţie

Coeficientul de difuzie a vaporilor a diferitelor argiluri şi tencuieli conform standardului german DIN 52615, metoda umedă

Curbele de absorbţie a luturilor solide (stânga) şi uşoare (dreapta).

Conţinutul de umiditate de echilibru al diferitelor lut şi al altor materiale de construcţie

Valorile U ale lutului

Condensare

In zonele climatice moderate si reci, vaporii de apa continuti in aerul interior difuzeaza prin pereti catre exterior. Dacă aerul este răcit în pereţi şi atinge punctul de rouă, are loc condens. Această umiditate reduce capacitatea de izolare termică şi poate duce la creşterea ciupercilor. În astfel de cazuri, este important ca această umiditate să fie transportată rapid prin acţiune capilară la suprafaţa pereţilor, unde se poate evapora. Prin urmare, materiale precum lut cu o capilaritate mare sunt avantajoase.

Pentru a reduce pericolul de condens în pereţi, rezistenţa la transmiterea vaporilor ar trebui să fie mai mare în interior decât în exterior. Pe de altă parte, rezistenţa la transferul de căldură ar trebui să fie mai mare în exterior decât în interior. Deşi principiile de mai sus

sunt în mod normal suficiente pentru a inhiba formarea condensului în pereţi, este, de asemenea, posibilă crearea unei bariere de vapori în interior prin utilizarea vopselelor sau a foilor.

Trebuie menţionat însă că barierele de vapori au două dezavantaje importante.

• Barierele de vapori nu sunt niciodată complet sigilate în practică, în special la îmbinări, ca în pereţii cu uşi, ferestre şi în tavane. În aceste articulaţii poate apărea condens dăunător.

• La secţiunile de perete monolitice, apa pătrunde în sezonul ploios din exterior în perete şi apoi nu se poate evapora

pe interior datorita barierei de vapori. În acest caz, peretele rămâne umed pentru o perioadă mai lungă decât ar fi fără o barieră de vapori.

Influenţa căldurii

Percepţia obişnuită că pământul este un material foarte bun pentru izolarea termică este nedovedită. Un zid solid de pământ batut fără paie sau alte agregate uşoare are aproape acelaşi efect de izolare ca un perete solid de cărămizi coapte. Volumul de aer antrenat în porii unui material şi umiditatea acestuia sunt relevante pentru efectul de izolare termică. Cu cât materialul este mai uşor, cu atât este mai mare izolaţia termică şi cu cât nivelul de umiditate este mai mare, cu atât efectul de izolare este mai scăzut.

Căldura care curge printr-un element de construcţie este definită de coeficientul global de transfer de căldură U.

Conductivitate termică

Transferul de căldură al unui material este caracterizat prin conductibilitatea sa termică k [W/mK]. Aceasta indică cantitatea de căldură, măsurată în waţi/m2, care pătrunde într-un perete de 1 m grosime la o diferenţă de temperatură de 1°C.

În 2.31, sunt prezentate diferitele valori k conform DIN 4108-4 (1998), indicate cu 1. 2 sunt măsurători ale lui Vanros, 3 şi 4 ale BRL.

La BRL, un lut de paie uşor cu o densitate de 750 kg/m3 a dat o valoare k de 0,20 W/mK, în timp ce un lut de argilă expandat uşor cu o densitate de 740 kg/m3 a dat o valoare de 0,18 W/mK.

Căldura specifică

Cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 1 kg dintr-un material cu 1°C se numeşte „căldura specifică”, reprezentată de c. Loam are o căldură specifică de 1,0 kJ/kgK care este egală cu 0,24 kcal/kg°C.

Capacitate termica

Capacitatea termică (capacitatea de stocare a căldurii) S a unui material este definită ca produsul căldurii specifice c şi densitatea r:

S = c . p [kJ/m3K]

Capacitatea termică de căldură defineşte cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 1 m3 de material cu 1°C. Capacitatea de stocare a căldurii Qs pentru o unitate de suprafaţă a peretelui este S înmulţită cu grosimea s a elementului:

Qs = c. p .c [kJ/m2K]

Aportul şi eliberarea căldurii

Viteza cu care un material absoarbe sau eliberează căldură este definită de difuzivitatea termică b, care depinde de căldura specifică c, densitatea r şi de conductivitate k:

b = VopT [kJ/Km2h0-5]

Cu cât valoarea b este mai mare, cu atât mai rapidă pătrunderea căldurii.

Factorul de scădere şi decalajul de timp „Factor de scădere" şi „decalaj de timp" se referă la modul în care peretele exterior al unei clădiri reacţionează la umezeală şi la perioada de întârziere înainte ca temperaturile exterioare să ajungă în interior. Un perete cu o capacitate mare de stocare termică creează un decalaj mare de timp şi o scădere a căldurii, în timp ce un perete cu izolaţie termică mare reduce doar amplitudinea temperaturii.

În climatele cu zile calde şi nopţi reci, unde temperaturile medii se află în zona de confort (de obicei, 18 ° până la 27 ° C), capacitatea termică este foarte importantă în crearea unor climate interioare confortabile. În 2.32, efectul materialului şi al formei clădirii asupra climei interioare este arătat prin citiri luate de la două clădiri de testare de volum egal construite în Cairo, Egipt, în 1964. Una a fost construită din pereţi de pământ de 50 cm grosime şi bolţi de cărămidă de noroi, iar cealaltă din elemente prefabricate de beton de 10 cm grosime cu un acoperiş plat. În timp ce variaţia diurnă a temperaturii exterioare a fost de 13°C, temperatura din interiorul casei de pământ a variat doar cu 4°C; in casa de beton, variatia a fost de 16°C. Astfel, amplitudinea a fost de patru ori mai mare în casa de beton decât în casa de pământ. În casa de beton, temperaturile la ora 16.00 au fost cu 5°C mai mari decât în exterior, în timp ce în interiorul casei de pământ, acestea au fost în acelaşi timp cu 5°C mai scăzute decât temperaturile exterioare (Fathy, 1986).

Dilatare termică

Expansiunea unui material cauzată de creşterea temperaturii acestuia este relevantă pentru tencuielile cu noroi pe pereţii de piatră, ciment sau cărămidă şi pentru tencuieli de var sau alte tencuieli pe pereţii de pământ. Coeficienţii de dilatare liniară măsuraţi de BRL pentru lut greu variază de la 0,0043 la 0,0052 mm/mK; pentru zidărie de cărămidă de nămol până la 0,0062 mm/mK; iar pentru mortar de nămol nisipos până la 0,007 mm/mK. Mortarul de

var moale are o valoare de 0,005 mm/mK, iar mortarul de ciment puternic 0,010 mm/mK, la fel ca betonul (Knofel, 1979 si Kunzel, 1990).

Rezistenta la foc

În standardul german DIN 4102 (Partea 1, 1977), argila, chiar şi cu un anumit conţinut de paie, este „necombustibilă" dacă densitatea nu este mai mică de 1700 kg/m3.

Rezistenţă

Forţa de legare

Rezistenţa la tracţiune a argintului în stare plastică este denumită „forţa sa de legare".

Forţa de legare a lutului depinde nu numai de conţinutul de argilă, ci şi de tipul de minerale argiloase prezente. Deoarece depinde şi de conţinutul de apă, forţa de legare a diferitelor argiluri poate fi comparată numai dacă conţinutul de apă sau plasticitatea sunt egale. Conform standardului german DIN 18952 (Partea 2), argila trebuie să aibă „rigiditatea standard" definită. Cum se obţine acest lucru este descris în acest capitol la p. 24.

Probele care urmează să fie testate au o formă specială în formă de 8, realizată dintr-un amestec de rigiditate standard. Probele sunt umplute

rezistenţă la compresiune (N/mm2)

0 1 2 3 4 5

2.36

Comparaţia temperaturii aerului din interior şi exterior a unei clădiri cu bolţi de chirpici (sus) cu una care foloseşte plăci prefabricate din beton (mai jos) (Fathy, 1986)

Matriţă pentru pregătirea probelor de testare pentru testul de rezistenţă la legare conform standardului german DIN 18952

2.38

Rezistenţă [N/mm2]

Relaţia dintre forţa de legare şi rezistenţa la compresiune a diferitelor argile de testare conform Gotthardt, 1949 şi testele BRL

Tensiuni de compresiune admise în lut conform standardului german DIN 18954

și batut cu o unealtă într-un cofraj în trei straturi (vezi 2.33). Din fiecare amestec trebuie să fie făcute cel puțin trei probe în acest mod pentru încărcare imediată în aparatul special de testare prezentat la punctul 2.34. Aici, nisipul este turnat într-un recipient atârnat pe partea inferioară a probei cu o viteză de cel mult 750 g pe minut. Turnarea este oprită când proba se rupe. Greutatea sub care se rupe proba, împărțită la secțiunea probei, care este de 5 cm2, dă forța de legare. Apoi se obține o medie din rezultatele a trei eșantioane care nu diferă cu mai mult de 10%. De obicei, valorile variază de la 25 la 500 g/cm2. Deși în DIN 18952, solurile cu forțe de legare mai mici de 50 g/cm2 nu au fost recunoscute în scopuri de construcție, testele pe o varietate de pereți istorici de pământ batut din Germania au arătat că unele dintre acestea, de fapt, au avut forțe de legare mult mai mici și o probă a fost chiar la 25 g/cm2.

Rezistența la compresiune

Rezistența la compresiune a elementelor de construcție uscate din pământ, cum ar fi blocurile de pământ și pereții de pământ batut, diferă în general de la 5 la 50 kg/cm2. Aceasta depinde nu numai de cantitatea și tipul de argilă implicată, ci și de distribuția granulometrică a nămolului, nisipului și agregatelor mai mari, precum și de metoda de preparare și compactare.

Metodele de tratare și aditivii pentru creșterea rezistenței la compresiune a lutului sunt discutate la p. 41. Afirmația lui Niemeyer (1946) că rezistența la compresiune este proporțională cu forța de legare și, prin urmare, că argilurile cu forțe de legare egale ar trebui să se încadreze în același interval de tensiuni admisibile pentru utilizarea în clădiri (vezi 2.35), este infirmată de Gotthardt (1949) și de BRL. Prin extrapolările lui Niemeyer, un lut cu o forță de legare de 60 g/cm2 ar avea o compresie admisibilă de 2 kg/cm2, iar un lut cu o forță de legare de 360 g/cm2 ar avea o compresie admisă de 5 kg/cm2. Experimentele de la BRL au dus la mostre de argilă mâloasă cu o forță de legare de 80 g/cm2, dar o rezistență la compresiune de 66 kg/cm2, în timp ce au găsit, de asemenea, mostre de argilă mâloasă cu o forță de legare de 390 g/cm2 care au prezentat doar o rezistență la compresiune de 25 kg/cm2. Unele dintre aceste rezultate sunt prezentate în 2.36.

Rezistența la compresiune admisă a elementelor de construcție din pământ conform DIN 18954 este între 3 și 5 kg/cm2 (vezi 2.37). Prin acest raționament, factorul general de siguranță în componentele pământului este de aproximativ 7. Aceasta implică faptul că rezistența reală la compresiune este de șapte ori mai mare decât solicitarea admisă în element. Luând în considerare tensiunile efective din clădirea ilustrată în 1.11, construită în 1828 și încă în folosință, avem pereți de pământ plin de cinci etaje înalți, iar compresia maximă în partea inferioară este de 7,5 kg/cm2 (Niemeyer, 1946), ceea ce nu ar fi fost admis conform DIN 18954.

În Yemen, există exemple de case de pământ solid de două ori mai mari decât cele menţionate mai sus. Evident, se poate construi o casă de pământ înaltă de zece etaje, dar DIN 18954 permite doar două etaje. Conform standardelor indiene pentru blocurile de sol stabilizate, rezistenţa la compresiune umedă a blocului trebuie de asemenea testată. Aici, blocul trebuie scufundat la o adâncime de 3 mm în apă timp de 24 de ore.

Rezistenţă la tracţiune

Rezistenţa la tracţiune sau forţa de legare a unui argint plastic a fost descrisă la p. 32. Pentru construcţia de pământ, rezistenţa directă la întindere a materialului uscat nu are relevanţă, deoarece structurile de pământ nu trebuie să fie sub tensiune.

Tabelul 2.38 arată că rezistenţa la rupere uscată este de aproximativ 10% din rezistenţa la compresiune cu blocuri şi 11 până la 13% cu mortarele de pământ.

Rezistenţa la tracţiune la încovoiere

Rezistenţa la rupere la încovoiere a lutului uscat este de puţină importanţă pentru construcţia de pământ. Totuşi, are o anumită semnificaţie atunci când se judecă calitatea mortarului de noroi şi rigiditatea marginilor cărămizilor de noroi.

Rezistenţa la tracţiune la încovoiere depinde în principal de conţinutul de argilă şi de tipul de minerale argiloase implicate. Argila montmorillonită are o rezistenţă la întindere la încovoiere mult mai mare decât caolinitul. Cea mai mică valoare investigată de Hofmann, Schembra, et. al. (1967) cu caolinitul a ajuns la 1,7 kg/cm2, cel mai mare cu argila Montmorillonită 223 kg/cm2. Argile fără Montmorillonit testate de Hofmann, Schembra et. al. (1967) au arătat rezistenţe la încovoiere la tracţiune între 17 şi 918 N/cm2.

Forţa de legătură

Rezistenţa adezivului sau a aderenţei este importantă numai în cazul mortarelor de noroi. Depinde de rugozitatea bazei şi rezistenţa la rupere la încovoiere a mortarului. În timp ce standardul german DIN 18555 (Partea 6) oferă o metodă de testare standard complexă pentru a obţine acest lucru, un test foarte simplu pentru verificarea rezistenţei de aderenţă este prezentat în 2.39: două cărămizi coapte sunt unite printr-un mortar de 2 cm grosime, partea superioară înclinată la 90° faţă de cea inferioară. După ce mortarul este uscat, cărămida superioară este aşezată pe suporturi de cărămidă la ambele capete, în timp ce cea inferioară este încărcată cu un recipient umplut cu nisip. Când mortarul se rupe, greutatea cărămizii inferioare şi a recipientului umplut cu nisip împărţită la suprafaţa mortarului conferă rezistenţa adezivului. Cu toate acestea, acest lucru este relevant numai dacă are loc o defecţiune la articulaţie. Dacă apare în interiorul mortarului, atunci aceasta reprezintă rezistenţa directă la tracţiune a mortarului, care este mai mică decât cea a lipirii.

Rezistenta la abraziune

Suprafețele de argilă precum mortarul de noroi și podelele de noroi sunt sensibile la abraziune. Un test simplu pentru abraziune este să folosiți o perie metalică, încărcată cu o greutate de aproximativ 5 kg, și să o mutați peste proba de argilă dintr-o parte în alta. Materialul care se desprinde după un anumit număr de cicluri este cântărit și

comparativ cu cel al altor probe. O farfurie acoperita cu hartie abraziva poate fi folosita si in locul unei perii metalice.

La BRL a fost dezvoltat un test special pentru suprafețele de argilă: o perie puternică din plastic cu diametrul de 7 cm este rotită pe suprafață sub o presiune de 2 kg. După 20 de cicluri, cantitatea de abraziune este cântărită. Ilustrația 2.40 prezintă aparatul și 2.41 rezultatele cu diferite tencuieli de pământ disponibile pe piața germană.

Modulul de elasticitate

Modulul dinamic de elasticitate al lutului se situează de obicei între 600 și 850 kg/mm2.

Rezistența la impact a colțurilor

Din cauza impacturilor mecanice, colțurile se sparg adesea în timpul manipulării cărămizilor de noroi. Prin urmare, în practică, acest tip de rezistență este mai important decât rezistența la compresiune sau la încovoiere. La BRL, a fost dezvoltat un test special pentru a măsura acest tip de rezistență împotriva șocurilor (vezi 2.42): o greutate este aruncată pe suprafață la un unghi de 60°, la 10 mm distanță de colț. Fundul său este format dintr-o bilă de oțel semisferică cu diametrul de 30 mm.

Radioactivitate

Măsurătorile radiației razelor beta și gamma arată că lutul are valori nu mai mari în medie decât betonul sau cărămizile coapte. Dimpotrivă, unele cărămizi testate de acest autor au prezentat mult mai multe radiații, probabil cauzate de aditivi precum cenușa zburătoare sau zgura de furnal. Mult mai importante decât razele beta și gama sunt razele alfa emise de gazul radioactiv radon și produsele sale de descompunere de scurtă durată. Razele „moi" nu pot pătrunde în corpul uman deoarece sunt absorbite de piele, dar pot fi inhalate prin respirație și, prin urmare, pot provoca cancer pulmonar. Următorul tabel arată rata de expirare a radonului dată de OCDE (1979) pentru Germania, măsurată în m becquerel/kg h.

3 cărămizi verzi de 24 cm (1.600 kg/m3, tencuială argilă de 15 cm)

4 Tencuială de var de 2 cm, lut ușor de 25 cm (800 kg/m3), tencuială de var de 1,5 cm

5 Bloc de argint uşor de 10 cm (1.400 kg/m3)

6 Beton poros de 17,5 cm (500 kg/m3)

7 cărămizi goale de 24 cm (1.200 kg/m3)

8 24 cm var-nisip-piatră (1.800 kg/m3)

9 ţiglă de 1,3 cm

10 element de parasolar din aluminiu

11 grilaj metalic pentru insecte (1x1 mm piure)

12 geam termopan, acoperit cu folie de aur

valoarea pH-ului

Solul argilos este de obicei bazic, cu valori ale pH-ului între 7 şi 8,5. În zilele noastre, din cauza ploilor acide, pământul săpat din zonele industriale poate fi uşor acid chiar sub sol. Starea de bază previne de obicei creşterea ciupercilor (valoarea favorabilă a pH-ului pentru ciupercă este de obicei între 6,5 şi 4,5).

Aceasta arată că o cărămidă de argilă dintr-un sol argilos eliberează foarte puţin radon.

Adăpost împotriva radiaţiilor electromagnetice de înaltă frecvenţă

Ilustraţia 2.43 arată diferitele grade de eficacitate ale materialelor solide de construcţie în ecranarea (reducerea) radiaţiilor electromagnetice de înaltă frecvenţă, măsurate la Universitatea Forţelor Armate Federale din München.

În zona de frecvenţe de 2 gigaherţi la care funcţionează majoritatea telefoanelor celulare (mobile), un zid de cărămidă de noroi cu grosimea de 24 cm creează o reducere de 24 dB (decibeli), în timp ce un perete de căpuşe egal al unei pietre de var şi nisip absoarbe doar 7 dB.

repararea lutului

Nu este întotdeauna uşor să produci material de construcţie dintr-un sol argilos şi este necesară experienţă. Prepararea corectă depinde de tipul de pământ, de consistenţa acestuia şi de aplicarea sa aşteptată.

Pământul umed prăbuşit, cu mai puţină lut şi mai mult conţinut de nisip, poate fi folosit imediat pentru a construi un zid de pământ batut chiar şi atunci când este săpat. Bolţurile de pământ cu conţinut ridicat de argilă nu pot fi folosite ca material de construcţie; acestea trebuie fie zdrobite, fie dizolvate în apă şi diluate cu nisip. Acest capitol descrie diferitele posibilităţi de pregătire a pământului pentru aplicaţii specifice.

Înmuiere, zdrobire şi amestecare

Există mai multe metode disponibile pentru a face material de construcţie lucrabil din bulgări de pământ. Una dintre cele mai uşoare metode de reducere a dimensiunii bulgărelor şi de a face consistenţa lor operabilă fără muncă mecanică este să plasaţi bulgări de pământ în apă, astfel încât să devină plastic de la sine. Boasele de argilă sunt aşezate în recipiente mari plate într-un strat de 15 până la 25 cm înălţime şi apoi acoperite cu apă. După două până la patru zile, se obţine o masă moale care poate fi uşor modelată şi amestecată cu mâna, picioarele sau maşinile, împreună cu agregate precum nisip şi pietriş. În climatele reci, unde există suficient îngheţ, o metodă tradiţională este de a stivui pământul umezit la 20 până la 40 cm înălţime şi de a-l lăsa să îngheţe peste iarnă, astfel încât să apară dezintegrarea din cauza expansiunii apei îngheţate.

Cel mai simplu mod de a pregăti amestecul potrivit de lut este amestecarea lutului umed cu o sapă sau modelarea cu picioarele. Se poate folosi şi puterea animală. Paiele, pleava, nisipul grosier şi alţi aditivi pot fi amestecate în timpul aceleiaşi operaţiuni.

La Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor (BRL) de la Universitatea Kassel din Germania, a fost construită o roată de noroi eficientă (3.1) în care două perechi de anvelope vechi de camioane au fost umplute cu beton şi utilizate pentru prepararea amestecului. Anvelopele au fost montate pe o grindă orizontală fixată pe un stâlp central vertical şi acţionate de un tractor sau de animale sau manufacturi.

al puterii. Cu un adaos adecvat de apă, un metru cub de lut utilizabil ar putea fi produs în aproximativ 15 minute (cu ajutorul a două sau trei persoane, în principal pentru a scoate noroiul care se revarsă înapoi în pistă). Dacă este disponibil un tractor, este uşor şi mai eficient să împrăştii pur şi simplu pământ pe un câmp şi să conduci înainte şi înapoi peste el.

3.6

3.8

Pentru cantităţi mici, un cultivator mic de grădină este foarte util (3.2). În tehnologia modernă de construcţie a pământului, se folosesc malaxoare forţate. Aici, amestecarea se face cu ajutorul unor braţe rotative care sunt fixate fie pe o axă verticală (3.3) fie orizontală (3.6). Este convenabil să aveţi un dispozitiv mecanic pentru umplerea acestui mixer, aşa cum se vede în 3.5.

Pot fi utilizate şi maşini vechi de amestecare a mortarului, ca cele care au role rotative (3.4). Maşina din 3.6 a fost special dezvoltată pentru prepararea lutului din orice fel de sol (de firma germană Heuser).

O metodă mai rapidă de preparare a argilosului din bulgări uscate de sol argilos este zdrobirea lor în

3.7

3.9

3.9 Concasor (Ceratec)

3.10 Concasor (Royer)

Dispozitiv de cernere

Greble pentru prepararea nămolurilor de lut

o maşină (3.8). Acesta are unghiuri de oţel fixate pe o placă orizontală, care se roteşte cu o viteză de 1440 de rotaţii pe minut. Necesita un motor electric de 4 kW. Maşina nu funcţionează dacă bulgări sunt umezi. Un alt exemplu poate fi văzut în 3.9, fabricat de Ceratec, Belgia, care este capabil să zdrobească până la 20 m3 de bulgări în opt ore cu un motor de 3 cai putere. În această maşină, boţurile sunt zdrobite de doi cilindri contrarotativi. Maşina prezentată în 3.10, fabricată de firma Royer din Franţa, poate zdrobi până la 30 m3 de bulgări de pământ în opt ore.

Este întotdeauna important să scoateţi materialul gata amestecat din recipient destul de curând. Există diferite posibilităţi pentru a face acest lucru: maşina prezentată în 3.5 are o deschidere în partea de jos prin care amestecul poate fi împins automat într-o roabă, iar recipientul aparatului poate fi înclinat astfel încât să cadă în roaba plată de dedesubt.

Betonierele obişnuite în care doar tamburul se roteşte sunt improprii pentru prepararea amestecurilor de lut, deoarece în ele, boţurile de pământ se aglomerează în loc să se descompună.

Un malaxor electric de mână de tipul prezentat în 3.7 consumă foarte mult timp şi este recomandat numai dacă urmează să fie pregătite cantităţi mici de mortar de noroi sau tencuială.

Cernerea

este să arunci materialul uscat peste o sită. Mai eficient este un aparat cu o sită cilindrică care este înclinată şi rotită cu mâna sau cu motorul (3.11).

Suspensie mecanică

Pentru a îmbogăţi un sol nisipos cu argilă sau pentru a pregăti un lut uşor, de obicei este necesară nămolul. Acesta poate fi preparat cel mai uşor din pulbere de argilă uscată amestecată cu apă. În cazul în care se folosesc bulgări de pământ argilos, acestea trebuie să rămână acoperite cu apă câteva zile în recipiente mari plate. După aceea, nămolul poate fi obţinut utilizând greble speciale, aşa cum se arată în 3.12, sau folosind malaxorele electrice de mână, aşa cum se arată în 3.10. Un mixer forţat folosit de obicei pentru amestecarea şi pulverizarea tencuielii este mai eficient.

Întărirea cu apă

Întărirea cu apă este un proces prin care amestecul de lut umed este lăsat să stea pentru o perioadă de 12 până la 48 de ore. Experienţa arată că acest proces sporeşte forţa de legare a lutului. Acest fenomen se datorează probabil atracţiei electrochimice dintre diferitele minerale argiloase care le forţează într-un model mai compact şi mai ordonat.

subţierea

Dacă este prea bogat în argilă, argila trebuie să fie slabă. Se adaugă agregate grosiere precum nisip sau pietriș, crescând rezistenţa la compresiune a argilosului. Agregatele grosiere ar trebui să fie întotdeauna umezite înainte de a fi amestecate în lut bogat. Pe lângă nisip şi pietricele, se mai pot folosi păr, bălegar de vacă, erica, paie, coajă, rumeguș şi alte materiale similare. Acestea servesc şi la reducerea contracţiei; unele servesc chiar la creşterea gradului de izolare termică.

Pentru tehnici specifice de construcţie a pământului, ar putea fi necesară cernerea particulelor mai mari. Cea mai simplă metodă care poate fi folosită

dovedirea caracteristicilor pământului prin tratament special sau aditivi

De regulă, este necesară doar modificarea caracteristicilor lutului pentru aplicaţii speciale. După cum putem vedea în 41, aditivii care îmbunătăţesc anumite proprietăţi le-ar putea înrăutăţi pe altele. De exemplu, rezistenţa la compresiune şi la încovoiere poate fi crescută prin adăugarea de amidon şi celuloză, dar aceşti aditivi reduc, de asemenea, forţa de legare şi măresc raportul de contracţie, ceea ce este dezavantajos.

Reducerea fisurilor de contracţie

Din cauza eroziunii crescute, ar trebui prevenite crăpăturile de contracţie pe suprafeţele de argilă expuse ploii. După cum este descris în capitolul 2 (p. 22), contracţia în timpul uscării depinde de conţinutul de apă, de tipul şi cantitatea de minerale argiloase prezente şi de distribuţia granulometrică a agregatelor.

subţierea

Adăugarea de nisip sau agregate mai mari la un lut reduce conţinutul relativ de argilă şi, prin urmare, raportul de contracţie. Rezultatele acestei metode sunt prezentate în 4.2 şi 4.3. În 4.2, un lut cu 50% argilă şi 50% conţinut de nămol a fost amestecat cu cantităţi crescânde de nisip până când raportul de contracţie s-a apropiat de zero. Pentru a asigura comparabilitatea, toate probele testate au avut o rigiditate standard (vezi capitolul 2, p. 24). Interesant este că un raport de contracţie de 0,1% este atins la un conţinut de aproximativ 90% nisip care măsoară 0 până la 2 mm diametru, în timp ce acelaşi raport este atins mai devreme când se utilizează nisip cu diametre de 0,25 până la 1 mm, adică la aproximativ 80%. Un efect similar poate fi observat în 4.3 cu lut lut, unde adăugarea de nisip grosier (1 până la 2 mm în diametru) dă un rezultat mai bun decât nisipul normal cu granule de la 0 la 2 mm în diametru.

Ilustraţia 4.4 arată influenţa diferitelor tipuri de argilă: o serie diluată cu granule de nisip de 0 până la 2 mm diametru cu 90% până la 95% caolinit pur, cealaltă cu bentonită, constând din 71% Montmorillonit şi 16% Ilită.

Medii de subţiere

În industria ceramică, mediile fluide de subţiere sunt utilizate pentru a obţine o lichiditate mai mare, permiţând astfel să fie utilizată mai puţină apă (pentru a reduce contracţia). Mediile de subţiere tipice sunt sticla de apă cu sodiu ($Na2O \bullet 3\text{-}4\ SiO2$), Soda ($Na2CO3$) şi acidul humus şi acidul tanic. Testele efectuate la BRL de la Universitatea din Kassel au arătat că aceste metode au fost foarte puţin relevante pentru pământ ca material de construcţie. Dar testele cu zer au avut succes.

Adaos de fibre

Raportul de contracţie a lutului poate fi redus prin adăugarea de fibre precum părul animal sau uman, fibre din nuci de cocos, sisal, agave sau bambus, ace din copaci de ace şi paie tăiate. Acest lucru se datorează faptului că conţinutul relativ de argilă este redus şi o anumită cantitate de apă este absorbită în porii fibrelor. Deoarece fibra creşte forţa de legare a amestecului, în plus, apariţia fisurilor este redusă. Unele rezultate ale testelor efectuate la BRL sunt prezentate în 4.5.

Măsuri structurale

Cea mai simplă metodă de reducere a fisurilor de contracţie în elementele de construcţie din pământ este reducerea lungimii acestora şi creşterea timpului de uscare. În timpul producerii cărămizilor de noroi, de exemplu, este important să le întoarceţi în poziţie verticală şi să le protejaţi de lumina directă a soarelui şi de vânt pentru a garanta un proces de uscare lent şi uniform.

O altă metodă sensibilă este proiectarea îmbinărilor de contracţie care pot fi închise separat şi care să evite fisurile de contracţie necontrolate (vezi capitolele 5, p. 56; 8, p. 76; şi 14, p. 113).

Stabilizare împotriva eroziunii apei

În general, nu este necesară creşterea rezistenţei la apă a elementelor de construcţie din pământ. Dacă, de exemplu, un zid de pământ este adăpostit împotriva ploii prin surplome sau şindrilă şi împotriva umidităţii în creştere din sol prin fundaţie printr-un strat orizontal rezistent la umezeală (care este necesar chiar şi pentru pereţii de cărămidă), nu este necesar să adăugaţi stabilizatori. Dar pentru tencuiala cu noroi care este expus ploii şi pentru elementele de construcţie lăsate neadăpostite în timpul construcţiei, poate fi necesară adăugarea de stabilizatori. Teoretic, un strat de vopsea rezistent la intemperii este suficient ca protectie, dar in practica, fisurile apar adesea la suprafata sau sunt create prin actiune mecanica. În plus, există pericolul ca apa de ploaie să pătrundă în argilă, provocând umflături şi eroziune.

Regula generală spune că cimentul şi bitumul ca stabilizatori sunt bune pentru lut cu mai puţină argilă, iar varul pentru lut argilos. Această regulă, însă, nu ia în considerare tipul de argilă. De exemplu, argila montmorillonită şi caolinită reacţionează destul de diferit, aşa cum este descris în capitolul 4, p. 45. Stabilizatorii acoperă mineralele argiloase şi împiedică apa să ajungă la ele şi să provoace umflături. În acest capitol sunt descrişi stabilizatorii uzuali, utilizaţi în mod tradiţional şi până în prezent. Alţi stabilizatori care cresc în principal rezistenţa la compresiune sunt menţionaţi în acest capitol, p. 45 şi 47. Rezistenţa la apă poate fi crescută şi prin modificarea distribuţiei granulelor de nămol şi nisip, aşa cum a demonstrat acest autor folosind trei cărămizi de noroi (prezentate în 4.6) pe care au fost turnaţi zece litri de apă pentru o perioadă de două minute. Cărămida din mijloc, cu conţinut ridicat de nămol, a prezentat o eroziune extremă până la 5 mm adâncime. Caramida din dreapta, cu un continut mai mare de argila (cca. 30%) a prezentat eroziune pana la 3 mm adancime; caramida din stanga, cu acelasi continut de argila, dar nisip mai putin fin si mai grosier, prezenta foarte putina eroziune.

Stabilizatori minerali (legatori)

Ciment

Cimentul acţionează ca un stabilizator împotriva apei, în special în solurile cu conţinut scăzut de argilă. Cu cât este mai mare conţinutul de argilă, cu atât este necesar mai mult ciment pentru a produce acelaşi efect de stabilizare.

Cimentul interferează cu forţa de legare a argilei şi, prin urmare, este posibil ca rezistenţa la compresiune a solului stabilizat cu ciment să fie mai mică decât cea a aceluiaşi sol fără ciment, aşa cum se arată în acest capitol, p. 45.

4.6

Ca şi în cazul betonului, rezistenţa maximă la apă a blocurilor de sol stabilizate cu ciment este atinsă după 28 de zile. Aceste blocuri trebuie să se vindece timp de cel puţin şapte zile

şi nu ar trebui să se usuce prea devreme. Dacă nu sunt protejate împotriva soarelui direct şi a vântului, blocurile trebuie pulverizate cu apă în timpul întăririi.

Pentru a grăbi şi a îmbunătăţi procesul de întărire, la fiecare litru de apă pot fi adăugate 20 până la 40 g hidroxid de sodiu (NaOH). Efecte similare pot fi obţinute cu aproximativ 10 g pe litru de apă fie de NaSO4, Na2CO3 şi Na2SiO2.

Lămâie verde

Dacă există suficientă umiditate, atunci are loc un schimb de ioni în lut cu var ca stabilizator. Ionii de calciu ai varului sunt schimbati cu ionii metalici ai argilei. Ca urmare, apar aglomerări mai puternice de particule fine, care împiedică pătrunderea apei. În plus, varul reacţionează cu CO2 din aer pentru a forma calcar.

Conţinutul optim de var pentru lut diferă şi ar trebui testat în prealabil în fiecare caz. Explicaţiile de la p. 43 arată că dacă se adaugă doar o cantitate mică de var, rezistenţa la compresiune poate fi mai mică decât cea a argintului nestabilizat.

Bitum

În Babilon, bitumul a fost folosit pentru a stabiliza cărămizile de noroi încă din secolul al V-lea d.Hr. În mod normal, bitumul este eficient pentru argilă cu conţinut scăzut de argilă. Efectul de stabilizare este mai pronunţat dacă amestecul este comprimat. Din acest motiv, bitumul este fie dizolvat în apă cu un emulgator cum ar fi nafta, ulei de parafină sau petrol. Este de preferat să se folosească un amestec de 4 până la 5 părţi bitum, 1 parte ulei de parafină şi 1% parafină, care este preparat prin încălzire la 100°C. În mod normal, 3% până la 6% din această soluţie este suficientă pentru a stabiliza solul. După ce solventul şi apa se evaporă, se formează o peliculă care lipeşte particulele de argilă, prevenind astfel pătrunderea apei.

Pahar de apă cu sifon

Sticla cu sodă (Na2O • 3-4 SiO2) este un bun stabilizator pentru lut nisipos, dar trebuie diluată cu apă în proporţie de 1:1 înainte de a fi adăugată. În caz contrar, vor apărea microfisuri care generează o absorbţie puternică de apă.

Produse animale

Produsele de origine animală, cum ar fi sângele, urina, gunoiul de grajd, cazeina şi lipiciul animal au fost folosite de-a lungul secolelor pentru stabilizarea argintului. În vremuri trecute, sângele de bou era folosit în mod obişnuit ca agent de legare şi stabilizare. În Germania, suprafeţele podelelor de pământ batut au fost tratate cu sânge de bou, făcându-le rezistente la abraziune şi ştergere. În multe ţări, zerul şi urina sunt stabilizatorii cei mai des utilizaţi pentru suprafeţele argiloase. Dacă se foloseşte gunoi de grajd, acesta trebuie lăsat să stea timp de una până la patru zile pentru a permite fermentarea; efectul de stabilizare este apoi considerabil sporit datorită schimbului de ioni dintre mineralele argiloase şi gunoi de grajd.

În India, tencuiala lutoasă tradiţională (tencuiala gobar) are un conţinut ridicat de bălegar de vacă, care a fost lăsat să stea în stare umedă cel puţin o jumătate de zi. Această tehnică este încă în uz. Investigaţiile efectuate la BRL au arătat că o probă de ipsos argilos supus testului cu jet (la care se face referire în capitolul 2, p. 28) s-a erodat după patru minute, în timp ce o probă cu 3,5% din greutate bălegar de vacă a început să dea semne de eroziune abia după patru ore.

Produse minerale şi animale

În vremurile trecute, era destul de comun să se sporească stabilizarea împotriva apei prin adăugarea de var şi gunoi de grajd, sau var şi zer. O reţetă tradiţională, de exemplu, specifică 1 parte pudră de var amestecată cu 1 parte lut nisipos, care este înmuiată timp de 24 de ore în urină de cal, după care poate fi folosită pentru tencuială. Evident, varul reacţionează chimic cu anumite ingrediente ale urinei, deoarece se poate observa aspectul unor cristale fine. Cazeina din urină şi gunoiul de grajd reacţionează cu varul pentru a forma albuminat de calciu (care nu este solubil în apă). Celuloza din urină şi gunoi de grajd sporeşte forţa de legare, deoarece fibrele de celuloză acţionează ca întărire. Compuşii amoniac acţionează ca un dezinfectant împotriva microorganismelor. Alte două reţete testate cu succes la BRL sunt: (a) o parte var hidraulic, patru părţi bălegar de vacă umed, vechi de trei zile şi opt părţi lut nisipos şi (b) patru părţi var hidratat, o parte brânză albă fără grăsimi şi zece părţi lut nisipos.

Produse vegetale

Sucurile de plante care conţin uleiuri şi latex şi derivate din plante precum sisal, agave, banane şi Euphorbia herea, de obicei în combinaţie cu var, sunt folosite ca acoperire stabilizatoare cu succes în multe ţări. Cercetările de la BRL au arătat că se poate obţine un grad ridicat de protecţie împotriva intemperiilor pentru suprafeţele argiloase folosind ulei de in dublu fiert. Trebuie menţionat însă că difuzia vaporilor este mult redusă în aceste cazuri (vezi capitolul 2, p. 29). Mai multe rapoarte arată că amidonul şi melasa fierte pot fi, de asemenea, folosite pentru a îmbunătăţi stabilitatea. Acest efect este mai pronunţat dacă se adaugă şi puţin var.

Stabilizatori artificiali

Răşinile sintetice, parafinele, ceara sintetică şi latexul sintetic sunt toate cunoscute a avea un efect stabilizator asupra argintului. Cu toate acestea, pentru că sunt relativ scumpe, predispuse la degradarea ultravioletei şi pentru că acţionează ca bariere de vapori, ele nu sunt discutate mai detaliat în această carte. Aceşti stabilizatori trebuie testaţi înainte de utilizare.

Silanul, siloxanul, siliconii, esterul de siliciu şi acrilatii au toate efecte hidrofuge. Ele sunt discutate mai detaliat în capitolul 12, p. 101.

Creşterea forţei de legare

Modul în care este derivată forţa de legare a fost deja descris în capitolul 2, p. 32. În mod normal, nu este necesară nicio forţă de legare specifică cu lut ca material de construcţie.

Dar dacă forţa de legare este insuficientă, aceasta poate fi mărită prin adăugarea de argilă sau printr-o mai bună pregătire, adică prin frământare şi întărire cu apă (vezi capitolul 3, p. 38). Produsele minerale, animale şi vegetale care sunt de obicei adăugate pentru a spori rezistenţa la intemperii a lutului sporesc, de asemenea, forţa de legare a acestuia, deşi uneori o pot reduce. Această secţiune explică diferitele metode prin care forţa de legare poate fi crescută.

Amestecare şi întărire cu apă

Este interesant de observat că, în funcţie de metoda lor de preparare, diferite probe de argilă din acelaşi amestec pot avea forţe de legare diferite. Dacă există suficientă apă pentru preparare, frământarea, amestecarea şi întărirea sporesc forţa de legare.

La BRL, s-a descoperit că, după ce a fost amestecat timp de zece minute într-un malaxor de laborator, un mortar de noroi mătăsos a căpătat o forţă de legare care a fost cu 57% mai mare decât acelaşi amestec atunci când a fost amestecat doar un minut. Cu toate acestea, a existat o reducere de 11% a forţei de legare după 20 de minute, ceea ce sugerează existenţa unui timp optim de amestecare. Creşterea forţei de legare datorită unui timp mai lung de pregătire este demonstrată printr-un simplu test. Figura 47 prezintă două bile de pământ cu diametrul de 5 cm scăpate de la o înălţime de 2 m pe o suprafaţă dură. Ambele au fost preparate la aceeaşi consistenţă, determinată de limita de plastic. Mingea din stânga a fost amestecată timp de două minute, cea din dreapta timp de zece minute. O comparaţie arată că proba care a fost amestecată mai mult demonstrează o deformare mult mai mică şi a avut tendinţa de a crăpa mai puţin.

Creşterea conţinutului de argilă

O metodă simplă de îmbunătăţire a forţei de legare a amestecurilor de pământ foarte slab este adăugarea de sol cu un conţinut ridicat de argilă sau chiar argilă pură.

Acest lucru este cel mai uşor dacă argila este disponibilă sub formă de pulbere şi doar amestecată în argila umedă. În unele ţări, bentonita este disponibilă în pungi precum cimentul. Acesta este format din argilă pură de la 80% la 90% şi conţine aproximativ 70% Montmorillonit. Densitatea uscată a pulberii este de aproximativ 800 kg/m3. Trebuie reţinut că, deşi Montmorillonitul are o rezistenţă foarte mare la încovoiere, are şi un comportament caracteristic de umflare şi contracţie ridicat. Este adesea mai uşor să obţineţi pulbere de argilă de la furnizorii industriei ceramice sau soluri extrem de argiloase de la fabricile de cărămidă. Bogurile bogate de lut trebuie ţinute în apă pentru a forma şlam şi apoi amestecate în lut cu un mixer (vezi capitolul 3).

Aditivi

Forţa de legare a luturilor slabe poate fi crescută de zer, brânză albă fără grăsimi, brânză proaspătă, urină, gunoi de grajd, ulei de in fiert dublu sau lipici de var-cazeină. Rezultatele trebuie testate în fiecare caz înainte de a utiliza aceşti aditivi într-un element de construcţie. Unele dintre datele compilate de BRL pot fi văzute în 41.

Creşterea rezistenţei la compresiune

Lotul pentru construcţii are în mod normal o rezistenţă la compresiune de 20 până la 50 kg/cm2. Tensiunea de compresiune admisă pentru pereţi conform standardului german DIN 18954 este de 3 până la 5 kg/cm2. În practică, este foarte rar necesară creşterea rezistenţei la compresiune, aceasta fiind necesară doar în elementele foarte solicitate utilizate în structuri mai înalte de două etaje (care oricum nu sunt admise de majoritatea standardelor). În cazul componentelor de pământ, rezistenţa muchiei împotriva impactului este foarte importantă şi adesea trebuie mărită. Rigiditatea colţurilor împotriva ruperii depinde de rezistenţa la tracţiune la compresiune şi la încovoiere. Această „rezistenţă la impactul marginii" este foarte importantă în timpul construcţiei, când cărămizile sau blocurile sunt transportate, mutate sau stivuite.

Rezistenţa la compresiune a unui tip de argilă depinde în principal de distribuţia granulometriei solului, de conţinutul de apă, de compactarea statică sau dinamică care îi este conferită şi de tipul de mineral argilos prezent. Dacă nisipul şi particulele de pietriş sunt distribuite astfel încât să ofere un volum minim de împachetare, iar nămolul şi argilele sunt astfel încât spaţiile intergranulare ale nisipului şi pietrişului să fie complet umplute de acestea, atunci a fost atinsă densitatea maximă (şi, prin urmare, rezistenţa la compresiune).

Distribuţie optimă a granulelor

Nu se ştie în mod obişnuit că rezistenţa la compresiune a unui amestec poate fi îmbunătăţită prin simpla optimizare şi variaţie a proporţiei de particule de nămol, nisip şi pietriş, dar fără creşterea conţinutului de argilă.

În tehnologia betonului, vorbim de o distribuţie ideală a granulometriei, „Fuller parabola" sau amestec bine gradat, dat de expresia:

a = 100

unde a este greutatea tuturor boabelor cu diametre mai mici de d, exprimată ca proporţie din masa totală care are cea mai mare bobină cu diametrul D.

Boemans subliniază că această formulă de clasificare nu este direct utilizată pentru construcţia de pământ, deoarece, conform acesteia, conţinutul de argilă dat este de doar 2% până la 3%, ceea ce este evident scăzut pentru construcţia de pământ (Boemans, 1989). El susţine că această formulă este valabilă numai pentru particule mai mari de 0,002 mm, sugerând în acelaşi timp un conţinut minim de argilă de bază de 10%. Această modificare duce la expresia:

a10 = 100 + 10

Curba derivată din această formulă modificată pentru o dimensiune maximă a granulelor de 4 mm este prezentată în 4.8.

Pregătirea

Rezistența la compresiune a unui amestec este afectată de tipul și cantitatea de preparat, precum și de proporția de apă utilizată în preparat, fapt care nu este nici bine cunoscut, nici bine cercetat.

La Institutul pentru Tehnologia Construcțiilor al Institutului Federal Elvețian de Tehnologie din Zurich și la BRL, s-a dovedit că un argil ușor umed, atunci când nu are bulgări și este compactat într-o presă de blocuri de sol, are de obicei o rezistență la compresiune mai mică decât același lut combinat cu suficientă apă, amestecat manual și apoi pur și simplu aruncat într-o matriță (cum se face la fabricarea chirpici). Într-un experiment la BRL, chirpici lucrați manual au avut, în medie, o rezistență la compresiune cu 19% mai mare decât dacă ar fi produs într-o presă de blocuri de sol care a conferit materialului o presiune de 20 kg/cm2. Convingerea multor cercetători și practicieni că presarea într-o presă de blocuri de sol duce la o creștere a rezistenței la compresiune poate fi adevărată doar în cazuri limitate. De regulă, nu este. „Secretul" lutului constă în structura lamelară a diferitelor minerale argiloase și în atracția lor electrică internă, care este activată numai de apă și mișcare. Aceasta înseamnă că, prin frământarea lutului în stare plastică, mineralele argiloase sunt capabile să se reunească într-o ambalare mai densă, în straturi paralele, obținând o forță de legare mai mare și, atunci când este uscat, o rezistență mai mare la tracțiune și compresiune.

Folosind aparatul de compactare prezentat în 4.9, dezvoltat la BRL pentru a testa probe de densitate definită egală, au fost produse eșantioane cilindrice care aveau 76 mm în diametru și 100 mm în înălțime. Probele au fost apoi compactate cu zece lovituri cu o greutate de 4,5 kg care cad peste ele de la o înălțime de 0,45 m. Volumul unei probe de pământ proaspăt săpat a fost astfel compactat cu aproximativ 30% până la 40%. Același sol mâl a fost amestecat cu puțină apă într-un amestecător de forță mecanică timp de două minute și, respectiv, 15 minute, apoi a fost umplut într-o formă cilindrică de aceeași dimensiune într-o stare pastosă. După uscare, proba care nu a fost compactată a avut o rezistență medie la compresiune de 28% și respectiv 38%, mai mare decât cele care au fost batate. Acest test demonstrează că pregătirea poate fi mult mai relevantă pentru rezistență decât compactarea. Cu toate acestea, trebuie remarcat faptul că proba menționată mai sus a fost mâloasă, în timp ce această diferență nu este la fel de mare cu argile cu conținut ridicat de argilă sau nisip.

Compactare

Compactarea argintului sub forță statică pentru a-și crește rezistența la compresiune este, în general, mai puțin eficientă decât baterea sau lovirea în timpul vibrației (prin forțe

aplicate dinamic). Când un obiect greu cade peste el, se generează valuri, provocând particulele de sol să vibreze.

Aceasta, la rândul său, creează mişcări care permit particulelor să se aşeze într-un model mai dens. În plus, dacă există suficientă apă, mineralele argiloase au capacitatea de a forma structuri paralele, mai dense şi mai ordonate datorită forţelor electrice, rezultând o rezistenţă mai mare de legare şi compresiune.

conform standardului german DIN 18127, se spune că conţinutul optim de apă este cel la care se atinge o densitate maximă uscată. Compactarea se face cu un ciocan Proctor. Pentru a obţine acest conţinut optim de apă, probele cu conţinuturi de apă variate sunt compactate în acest mod şi densităţile acestora sunt determinate. Conţinutul de apă care dă cea mai mare densitate se numeşte conţinut optim de apă. Curba obţinută prin conectarea acestor puncte se numeşte „Curba Proctor" (4.11).

În construcţia pământului, totuşi, densitatea sau compactarea maximă şi, prin urmare, aşa-numitul conţinut optim de apă, nu conduc neapărat la densitate sau compactare maximă. Prin urmare, aşa-numitul conţinut optim de apă nu conduce neapărat la rezistenţa maximă la compresiune şi nici nu este parametrul cel mai decisiv. Dimpotrivă, parametrii decisivi sunt lucrabilitatea şi forţa de legare; prin urmare, se recomandă ca argila să nu fie utilizată cu conţinut optim de apă conform DIN 18127, ci cu un conţinut de apă ceva mai mare decât optimul astfel derivat. De fapt, acest aşa-numit conţinut optim de apă poate fi tratat, în practică, ca un conţinut minim de apă. La blocurile de sol comprimat, s-a demonstrat că un conţinut de apă cu 10% mai mare decât optimul dă rezultate mai bune decât aşa-numitul optim. Boemans a mai spus că conţinutul optim de apă nu are ca rezultat, de obicei, rezistenţa maximă la compresiune. De asemenea, a descoperit că, dacă există o compactare mai mică şi apă mai mare, atunci aceeaşi rezistenţă la compresiune poate fi obţinută prin utilizarea unei compactări mai mari şi mai puţină apă (Boemans, 1989, p. 60 şi urm.). La Labor Geomateriaux al Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE) din Vaulx-en-Velin, Franta, s-a constatat ca tipul de minerale argiloase implicate influenteaza si rezistenta la compresiune dupa compactare. De exemplu, prin creşterea presiunii statice de la 2 la 8 MPa la producerea blocurilor de sol folosind o presă, rezistenţa la compresiune a crescut cu aproximativ 50% cu caolinitul şi cu aproximativ 100% cu Montmorillonit (Oliver, Mesbah, 1985).

Aditivi minerali

Argila slabă argilosă poate atinge o rezistenţă la compresiune mai mare prin adăugarea de argilă Montmorillonită. La BRL, testele au fost efectuate cu nisip îmbogăţit cu 17% în greutate caolinit şi, respectiv, bentonită. (Bentonita conţine aproximativ 70% Montmorillonit). La caolinit, rezistenţa la compresiune atinsă a fost de 5 kg/cm2, iar la bentonită, de 12 kg/cm2.

Adăugarea de var şi ciment, de obicei destinată creşterii rezistenţei la intemperii a lutului, creşte în general rezistenţa la compresiune. Aşa cum este descris aici, totuşi, rezistenţa la

compresiune poate fi, de asemenea, redusă de aceşti aditivi, în special în cantităţi mai mici de 5%. Acest lucru se datorează faptului că varul şi cimentul interferează cu forţa de legare a mineralelor argiloase. Cu cât este mai mare conţinutul de argilă, cu atât trebuie să fie mai mare cantitatea de var sau ciment adăugată.

Testele au arătat că, de regulă, varul oferă o mai bună stabilizare cu lut argilos bogat, în timp ce cimentul dă rezultate mai bune cu lut mai slab. În plus, cimentul este mai eficient cu caolinitul şi varul cu montmorillonit. În practică, se recomandă întotdeauna efectuarea unor teste relevante. Atunci când faceţi acest lucru, trebuie să aveţi în vedere următoarele puncte:

Când argila este stabilizată cu ciment sau var, ar trebui să rămână nişte pori. Doar punctele de contact ale particulelor mai mari ar trebui cimentate împreună, dar mai puţini pori trebuie umpluţi decât cu beton.

Când cimentul se hidratează, se formează var liber. Acesta reacţionează cu acizii silicaţi ai mineralelor argiloase astfel încât, pe lângă stabilizarea timpurie cauzată de ciment, are loc şi o întărire mai durabilă. Prin urmare, spre deosebire de betonul de ciment, rezistenţa argintului stabilizat cu ciment creşte puţin chiar şi după 28 de zile.

La adăugarea de var hidraulic are loc un schimb de ioni între mineralele argiloase şi ionii de calciu adăugaţi, care durează între patru şi opt ore. Procesul suplimentar de întărire cauzat de reacţia varului hidratat cu dioxidul de carbon din aer are loc foarte lent.

Chiar şi după câteva luni, pot fi observate creşteri mici ale rezistenţei. O anumită cantitate de umiditate este esenţială pentru acest proces de întărire, astfel încât elementele de argilă sau pământ trebuie să fie protejate împotriva soarelui direct şi a vântului.

Conţinutul optim de apă este crescut cu adăugarea de var, în timp ce densitatea la acest nou nivel optim este mai mică decât cea fără var (4.12).

Rezultatele experienţelor efectuate la BRL (4.13) arată că rezistenţa la compresiune a unui argilă foarte nămoloasă care conţine 12% argilă, 74% nămol şi 14% nisip şi având o rezistenţă la compresiune de 50 kg/cm2 fără ciment, scade odată cu adăugarea unor cantităţi mici de ciment. Rezistenţa la compresiune iniţială este atinsă din nou cu adăugarea de 2% ciment.

După cum se poate observa în 4.14, această rezistenţă iniţială este atinsă doar la 4% la adăugarea de var. În acest caz, scade din nou după 6% de stabilizare cu var.

Şi mai semnificativă este reducerea rezistenţei la compresiune în timp ce se stabilizează mortarele slabe de noroi, aşa cum se arată în 4.15 din dreapta. Partea stângă a aceleiaşi figuri arată modificările corespunzătoare ale rezistenţei la încovoiere la tracţiune. Valorile rezistenţei la compresiune uscate şi umede ale chirpicilor lucraţi manual cu procente diferite de conţinut de ciment sunt prezentate în 4.16.

Investigaţiile de la ENTPE arată că testarea caolinitului pur cu 4% ciment creşte rezistenţa la compresiune, în timp ce la Montmorillonit, aceeaşi cantitate de ciment arată o scădere a rezistenţei. Prin adăugarea a 4% var şi 2% ciment, rezistenţa la compresiune a ambelor tipuri de argilă creşte cu aproape 100% (Oliver, Mesbah, 1985). Trebuie remarcat faptul că aceste teste au fost făcute cu conţinut optim de apă şi cu argilă pură. Cu toate acestea, în practica reală, această creştere poate să nu fie atât de mare, deoarece lutul utilizat în construcţii are de obicei un conţinut de argilă de 5% până la 15% şi poate să nu fie utilizat cu conţinut optim de apă.

Rezultatele testelor efectuate la BRL cu chirpici lucraţi manual sunt prezentate în 4.17 şi 4.18. Aici, au fost testate patru amestecuri diferite de nisip şi argilă cu adaos de 6% ciment şi, respectiv, var. Este interesant de observat că rezultatele au fost aproape aceleaşi în cazul nisipului pentru tencuială şi al nisipului cu bentonită. Prin adăugarea de var la aceste amestecuri, rezistenţa la compresiune a argintului de caolinit este chiar mai mică decât cea care conţine nisip (4.18).

Din aceste investigaţii, derivăm următoarele linii directoare:

Lotul cu conţinut ridicat de caolinit trebuie stabilizat cu ciment (şi nu cu var).

Lotul cu conţinut ridicat de Montmorillonit trebuie stabilizat cu var sau cu un amestec de var şi ciment în raport de 2:1 (şi nu cu ciment).

Compactarea puternică creşte semnificativ rezistenţa la compresiune a Montmorillonitei. Acest efect este semnificativ în caolinit. CRATerre sugerează stabilizatori adecvaţi pe baza limitei de lichid, a limitei plastice şi a indicelui de plasticitate (4.19), fără a ţine cont de tipul de minerale argiloase (CRATerre, 1979).

Când adăugaţi ciment pe lut, amestecul trebuie utilizat imediat, deoarece priza cimentului începe imediat. Dacă amestecul este lăsat să stea câteva ore înainte de a fi presat în blocuri de pământ, rezistenţa la compresiune a acestor blocuri poate fi redusă cu până la 50%. Cu toate acestea, dacă se adaugă var, acest interval de timp nu are nicio influenţă negativă asupra rezistenţei finale. Dacă se adaugă mai puţin de 5% ciment, procesul de uscare afectează rezistenţa la compresiune. Dacă

blocurile sunt expuse direct soarelui şi vântului, astfel încât să se usuce mai devreme, apoi rezistenţa lor finală poate fi redusă cu 20% în comparaţie cu blocurile păstrate acoperite cu stivuire umed. Dacă această acoperire umedă nu este posibilă, blocurile trebuie cel puţin protejate de soare direct şi stropite cu apă de mai multe ori pe zi. Când se adaugă 10% ciment, această protecţie are mai puţină relevanţă pentru rezistenţa finală (Houben, Guillaud, 1984). Dacă se adaugă puzzolana împreună cu var, se obţine un efect suplimentar de stabilizare şi se poate reduce cantitatea de var. Anumite cenuşă vulcanică prezintă proprietăţi puzolanice, la fel ca cenuşa zburătoare şi cenuşa de coajă de orez. Praful de cărămidă de la cărămizi coapte la temperatură joasă prezintă, de asemenea, proprietăţi puzolanice uşoare, dar praful de cărămizi coapte la temperatură înaltă de la fabricile de cărămidă industrială nu. Un efect de stabilizare interesant se observă atunci când argila,

creta şi pulberea de cuarţ sunt amestecate cu sticlă de apă. Acest produs, numit geopolimer, este derivat din poli-condensare: o reţea tridimensională, care apare în stare alcalină cu eliberarea apei. Acest produs poate fi extrudat, presat sau spumat cu peroxid de hidrogen (H2O2).

Aditivi organici

Rezistenţa la compresiune şi legare a caolinitului poate fi crescută semnificativ prin adăugarea de uree şi acetat de amoniu (Weiss, 1963). Weiss sugerează, de asemenea, că rezistenţa mare a porţelanului provine din caolinitul înmuiat în urină putredă (care conţine uree şi acetat de amoniu). Forţa de îndoire la tracţiune poate fi mărită de aproximativ 10 până la 20 de ori în acest fel.

Adaos de fibre

Fibrele sunt de obicei adăugate pentru a reduce contracţia. Ipoteza des menţionată că fibrele cresc întotdeauna rezistenţa la compresiune este falsă. Când se adaugă fibre fine sau păr în cantităţi mici, rezistenţa la tracţiune - şi, prin urmare, rezistenţa la compresiune - creşte uşor. Adăugarea de paie tăiate are însă efectul opus, după cum arată investigaţiile efectuate la BRL (a se vedea tabelul 4.20).

Rezistenţă la abraziune

Experimentele efectuate la BRL au menit să mărească rezistenţa unui eşantion de pământ batut care conţine 14% argilă, 41% nămol şi 45% nisip şi care implică adăugarea de sticlă de sodă, clei animal, brânză albă şi var cu conţinut scăzut de grăsimi, parafină, parafină-petrol, ceară de podea şi adaos de ulei de in fiart dublu de 10% din sticlă fiartă. suprafata rezistenta. Cu toate acestea, au apărut mai multe crăpături, permiţând apei să pătrundă. (Este posibil să fi fost posibil să se evite acest lucru dacă paharul de apă ar fi fost amestecat în prealabil cu apă în proporţie de 1:1.)

A doua cea mai mare rezistenţă a fost obţinută prin adăugarea de 5% ulei de in, prin care suprafaţa a fost netezită cu o mistrie în timpul întăririi, închizând fisurile firului de păr în aşa fel încât suprafaţa să rămână lucioasă. A treia cea mai bună soluţie a fost obţinută prin adăugarea de 5% brânză albă cu conţinut scăzut de grăsimi şi 5% var. Rezistenţa la abraziune poate fi crescută şi cu acoperiri. Aici, trebuie reţinut că acoperirile trebuie să pătrundă adânc în material şi trebuie reînnoite periodic. Experimentele arată că acoperirile şi aplicarea suplimentară de ceară pentru podea măresc considerabil rezistenţa la abraziune.

O reţetă tradiţională germană care produce o suprafaţă rezistentă şi rezistentă este un strat de sânge de bou presărat cu Fe3O4, care este apoi ciocănit în suprafaţa lutoasă. Straturile de sânge de vacă, bilă de vacă şi gudron au fost, de asemenea, frecvent utilizate în vremuri trecute.

Creşterea izolaţiei termice

Izolarea termică a lutului poate fi mărită prin adăugarea de substanţe poroase precum paie, stuf, alge marine, plută şi alte materii uşoare vegetale. De asemenea, pot fi adăugate particule minerale spumate natural sau artificial, cum ar fi piatră ponce, lavă, argilă expandată, sticlă spumă, perlit expandat şi materie vegetală spumă precum pluta expandată. Produsele reziduale precum rumeguşul, aşchii de lemn, boabele de huskof pot fi, de asemenea, utilizate, dar având în vedere densitatea lor mai mare, ele prezintă proprietăţi izolante inferioare. Cu cât amestecul este mai poros, cu atât este mai uşor şi izolaţia termică este mai mare.

Conform standardului german DIN 18951, lut cu agregate uşoare se numeşte lut uşor dacă densitatea sa este mai mică de 1.200 kg/m3. Dacă paiele sunt folosite ca umplutură, se numesc lut de paie uşor, în timp ce rumeguşul sau aşchii de lemn sunt denumite lut de lemn uşor. Agregatele minerale poroase sunt numite lut mineral uşor. Deoarece aceste trei tipuri de lut uşor diferă în proprietăţile şi metodele lor de fabricare, ele sunt descrise separat.

Nămolul argilos bogat este folosit pentru a produce aceste argile uşoare. Procesul de fabricare a şlamului depinde de amestecul specific de lut care a fost găsit şi poate fi efectuat fie manual, fie mecanic, aşa cum este descris în capitolul 3, p. 38.

În teorie, este, de asemenea, posibil să se folosească argint care a fost suflat sau expandat cu substanţe care creează spumă pentru a forma pori umpluţi cu aer. Până în prezent, testele cu argilă nu au reuşit să producă rezultate corespunzătoare.

Loam de paie uşor

General

Lotul de paie uşor este un amestec de paie şi lut cu o densitate mai mică de 1.200 kg/m3. Dacă această densitate este mai mare de 1.200 kg/m3, se numeşte lut de paie. Există o dezbatere la nivel mondial asupra tipului de paie cel mai potrivit şi ar trebui testat în fiecare caz. Pentru tencuiala lutoasă, totuşi, paiele de orz s-au dovedit a fi potrivite, deoarece sunt de obicei mai moi decât celelalte paie. Mai importantă decât tipul de paie este structura lăstarilor săi. Pentru a creşte izolaţia termică, sunt de preferat paiele cu lăstari rigidi, deoarece nu se deformează uşor şi, prin urmare, ţin aerul prins în interior.

Tăierea paielor

Lungimea lăstarilor de paie nu trebuie să fie mai mare decât grosimea elementului de construcţie. Tăierea poate fi gestionată printr-o varietate de metode manuale sau mecanice.

Pregătirea amestecului

Lotul şi paiele se amestecă împreună fie prin turnarea nămolului peste paie, fie prin scufundarea paielor în nămol. Lăstarii de paie trebuie să fie înconjuraţi în totalitate de

nămol de lut. Capitolul 10, p. 83 descrie modul în care acest amestec este manipulat ulterior pentru diverse aplicaţii.

Izolatie termica

O concepţie greşită larg răspândită este că paiul folosit ca umplutură în casele medievale cu carcasă de lemn din Europa a furnizat suficientă izolaţie termică. Dacă 10 părţi de paie tăiate sunt amestecate cu nămol de lut gros format din 2 părţi de lut argilos uscat şi 1 parte de apă, se va obţine un amestec cu o densitate uscată de aproximativ 1.300 kg/m3 şi o valoare k de aproximativ 0,53 W/mK. Astfel, un element tipic al acestui material cu o grosime de 14 cm acoperit cu tencuială de var de 2 cm pe ambele părţi dă o valoare U de 2,1 W/m2K. Pe de altă parte, dacă se doreşte să se obţină o valoare U de 0,5 W/m2K (aşa cum se doreşte sau se cere în general de codurile de construcţie în majoritatea ţărilor din centrul şi nordul Europei de astăzi), atunci acest zid ar trebui să aibă o grosime de 0,95 m. Chiar dacă conţinutul de paie ar fi crescut de trei ori, acest material este inacceptabil pentru o grosime de 14 cm.

În practică, este aproape imposibil să se obţină o densitate mai mică de 500 kg/m3, deoarece paiele sunt înmuiate prin umezirea cauzată de procesul de amestecare şi se compactează atunci când sunt plasate în cofraj.

Au existat afirmaţii privind o densitate mai mică (până la 300 kg/m3), dar acestea nu sunt de obicei corecte, deoarece se bazează adesea pe sau sunt produse prin metode de testare inexacte. De obicei, un cofraj mic de dimensiunea cărămizii este umplut lejer cu un amestec de lut de paie. Acesta este apoi cântărit după uscare şi împărţit la volumul matriţei, ceea ce poate duce la erori de aproximativ 40%. Singura metodă precisă de determinare a densităţii este tăierea cu ferăstrău dintr-un cuboid dintr-un bloc mai mare (în special în înălţime), astfel încât paiele să se îndoaie la cor-

nerele precum şi spaţiile de aer rămase în jurul marginilor matriţei sunt eliminate. Cu cât eşantionul este mai mare, cu atât este mai mare precizia, deoarece există întotdeauna o anumită eroziune a marginilor în timpul tăierii şi manipulării.

Datorită erorilor menţionate mai sus, din păcate, densităţile de până la 300 kg/m3 tind să fie presupuse şi valoarea k calculată în consecinţă. Deoarece, în realitate, densităţile sunt de obicei de aproximativ 700 kg/m3 în secţiunile construite, valoarea k a acesteia este de 0,21 W/mK, din care, pentru un perete de 30 cm grosime tencuit pe ambele părţi, valoarea U poate fi derivată ca 0,6 W/m2K. Această valoare a transmisiei de căldură este dublă faţă de valoarea care poate fi pretinsă presupunând o densitate de 300 kg/m3.

Următoarele puncte trebuie avute în vedere atunci când lucraţi cu lut de pai uşor, deoarece lut de pai uşor are anumite dezavantaje incontestabile în comparaţie cu lut pur:

Într-un climat moderat sau umed, creşterea ciupercilor are loc după doar câteva zile, emanând un miros puternic caracteristic. Acest lucru poate, în cazuri extreme, să dea naştere la alergii. Prin urmare, în timpul construcţiei trebuie asigurată o bună ventilaţie,

astfel încât componentele clădirii să se usuce rapid. După ce pereţii s-au uscat complet, ceea ce poate dura câteva luni sau chiar un an sau mai mult, în funcţie de grosime şi climă, ciuperca nu mai produce spori. Cu toate acestea, formarea sporilor poate fi reactivată dacă apa pătrunde în pereţi fie din exterior prin scurgere, fie din interior prin condensare. Creşterea ciupercilor poate fi inhibată prin adăugarea de var sau borax, dar aceasta are următoarele dezavantaje:

forţa de legare şi rezistenţa la compresiune sunt semnificativ scăzute,

mâinile devin iritate în timpul lucrului cu acest amestec.

Pereţii mai groşi de 25 cm pot părea uscaţi la suprafaţă, deşi putrezesc în interior (vezi capitolul 10, p. 83).

Rezistenţa suprafeţei amestecului pentru un perete cu o densitate mai mică de 600 kg/m3 este de obicei prea mică pentru a prinde eficient cuiele sau diblurile, aşa cum este adesea necesar. Deoarece sunt necesare două straturi, tencuiala este mai laborioasă, uneori cu o anumită armătură între ele.

La uscare, are loc o tasare verticală, ceea ce duce la goluri deasupra elementelor de perete (4.21). Acestea trebuie umplute cu atenţie ulterior pentru a preveni punţile termice şi sonore şi infiltrarea aerului.

Lucrul cu acest material este destul de laborios. Fără maşini speciale pentru amestecare şi transport, forţa de muncă pentru un perete tipic de 30 cm grosime este de aproximativ 6 h/m2 (20 h/m3). Aceasta este de patru ori mai mare decât forţa necesară pentru lucrările tipice de zidărie cu cărămidă. Dezavantajele menţionate mai sus pot fi evitate dacă se folosesc agregate minerale poroase în loc de paie, aşa cum se discută în secţiunea următoare.

Avantajele potenţiale ale lutului de paie uşor sunt costurile reduse ale materialelor implicate şi faptul că poate fi lucrat fără investiţii în unelte şi utilaje speciale. Este deosebit de potrivit, prin urmare, pentru construcţia bricolaj.

Loam mineral uşor

Pentru a creşte izolaţia termică, agregatele minerale poroase pot fi adăugate la lut ca alternativă la paie; acestea includ argilă expandată, sticlă spumă, lavă expandată, perlit expandat şi piatră ponce. Este posibil să se obţină un raport de contracţie de 0 (adică, pentru a elimina contracţia cu totul) prin alegerea proporţiei corecte de agregate. Toate celelalte tehnici de construcţie cu pământ necesită luarea în considerare a contracţiei.

În comparaţie cu lut de paie, rezistenţa la difuzia vaporilor este de două până la trei ori mai mare şi, prin urmare, probabilitatea de condensare a apei în interiorul peretelui este scăzută (vezi capitolul 2, p. 29).

Un alt avantaj al materialului este că amestecul poate fi pompat într-un cofraj, reducând astfel foarte mult forţa de muncă. Întrucât investiţiile la maşini sunt mai mari, această metodă este recomandată doar pentru proiectele de construcţie mai mari. Densităţile realizate în general variază de la 500 la 1.200 kg/m3.

Aditivi

În unele ţări industrializate, argila expandată este un aditiv ieftin şi uşor disponibil. Are o densitate în vrac de aproximativ 300 kg/m3 şi este produsă prin arderea lutului în cuptoare rotative la temperaturi de până la 1200°C fără niciun alt aditiv pentru spumare. Spumarea apare din cauza încălzirii bruşte, care determină evaporarea apei de cristalizare şi a apei din pori, creând o expansiune în masă (asemănătoare cu prepararea pop-cornului). Suprafaţa acestor bile de argilă expandată se topeşte şi este sinterizată. Aproape toţi porii din aceste bile de argilă expandată sunt închişi şi, prin urmare, sunt insensibili la apă şi îngheţ. Conţinutul de umiditate de echilibru în volum este de numai 0,03%.

Sticla spumată are caracteristici similare cu argila expandată, dar are o densitate în vrac mai mică. Poate fi produs prin reciclarea sticlei cu agenţi de spumă suplimentari.

Perlitul expandat este produs din roca vulcanică (găsită în Europa, pe insula grecească Milos şi în Ungaria). Conţine 3% până la 6% apă legată chimic, iar atunci când este încălzită brusc la 1000°C, această apă se evaporă şi măreşte prima valoare de 15 până la 20 de ori. Densitatea în vrac poate fi de până la 60 kg/m3, valoarea k este de 0,045 W/mK. Rezistenţa la difuzia vaporilor este de aproximativ 2,7 Căldura specifică este de 1000 J/kgK. Cu un material cu densitate în vrac 90 kg/m3, se obţine o valoare k de 0,05 W/mK. Compoziţia chimică a perlitului expandat este: SiO2 (60-75%), Al2O3 (12-16%), Na2O (5-10%).

Lava expandată este similară cu perlitul expandat de origine vulcanică, cu excepţia faptului că densitatea sa în vrac este mai mare.

Piatra ponce este o piatră poroasă naturală care a fost deja „expandată” în timpul formării sale într-un vulcan. Densitatea sa în vrac variază de obicei de la 500 la 750 kg/m3.

Amestecarea

În timp ce malaxorele forţate sunt de obicei necesare pentru a produce amestecuri de lut (vezi capitolul 3, p. 37), lut mineral uşor poate fi produs într-o betoniera obişnuită. Acolo, agregatele pot fi amplasate în prealabil şi nămolul de argilă turnat peste el. Amestecul este gata în trei până la cinci minute. Suspensia trebuie să aibă un conţinut bogat de argilă şi o forţă de legare. Producţia de şlam de lut este descrisă în capitolul 3, p. 38.

Distribuţia granulometriei

Distribuţia granulometrică a agregatelor minerale afectează proprietăţile argintului mineral uşor. De exemplu, o densitate de până la 500 kg/m3 poate fi atinsă cu fracţiuni de argilă expandată cu diametrul de 8 până la 16 mm. Cantitatea de nămol de lut trebuie proiectată astfel încât volumele dintre particulele de agregat să nu fie complet umplute, adică

agregatele să fie lipite împreună doar în punctele de contact. Această densitate de 500 kg/m3 poate fi atinsă dacă se adaugă 2,5 părţi de argilă la 12 părţi de argilă expandată (8 până la 16 mm). Cu toate acestea, blocurile din acest amestec au o margine scăzută şi o rigiditate a suprafeţei. Se obţine un amestec mai puternic cu 24 de părţi argilă expandată (8 până la 16 mm), 5 părţi argilă expandată (1 până la 2 mm) şi 5 până la 7 părţi argilă. Densitatea atinsă de acest amestec va fi de 640 până la 700 kg/m3. Pentru a obţine o densitate mai mare, pot fi alese fracţiuni de argilă expandată de 4 până la 8 mm, adăugând suficient lut pentru a umple toate spaţiile dintre agregate. În acest caz, este avantajos să subţiezi argila cu nisip grosier.

Manipulare

Lotul mineral uşor, spre deosebire de lotul de paie uşor, poate fi turnat sau chiar pompat dacă amestecul este ales corespunzător. Metodele de preparare şi manipulare a acestui amestec sunt explicate mai detaliat în capitolul 10.

Izolatie termica

Proprietăţile de izolare termică ale lutului mineral uşor depind în principal de densitatea acestuia şi sunt egale cu cele ale lutului de paie uşor dacă densitatea este mai mare de 600 kg/m3. Pentru amestecurile sub 600 kg/m3, proprietăţile de izolare termică ale luturilor minerale uşoare sunt oarecum mai bune decât cele ale luturilor uşoare de paie, deoarece paiele au un conţinut de umiditate de echilibru mai mare şi, prin urmare, mai multă umiditate,

ceea ce reduce izolarea. Conţinutul de umiditate de echilibru al paielor de secară la o umiditate relativă de 50% şi o temperatură de 21°C, de exemplu, este de 13%, în timp ce în aceleaşi condiţii, este de numai 0,1% în cazul argilei expandate.

Energia întruchipată

Se susţine adesea că agregatele minerale spumate artificial, cum ar fi argila expandată, necesită energie considerabilă pentru producţie. În acest context, trebuie să fim conştienţi de faptul că energia încorporată a lemnului sau cărămizilor utilizate în construcţii este mult mai mare. Energia încorporată a lemnului este calculată a fi de 6 ori mai mare decât cea a vatei minerale şi de două ori mai mare decât argila expandată pentru acelaşi volum (Turowski, 1977; Weller şi Rehberg, 1979; Elias, 1980; Marme şi Seeberger, 1982).

Atunci când facem o evaluare generală a energiei de construcţie pe care o implică un proiect dat, trebuie să ne amintim că, deşi poate fi adevărat din punct de vedere tehnic că argilurile cu minerale expandate artificial folosesc mai multă energie decât cele care conţin alte agregate, această diferenţă este neglijabilă în comparaţie, de exemplu, cu aportul total de energie implicat în prelucrarea, producţia şi transportul lemnului.

Loam uşor de plută

Pluta expandată poate fi folosită pentru a forma lut ușor în locul agregatelor minerale poroase. Avantajul plutei expandate este densitatea sa redusă. Dezavantajul este că acest material este relativ scump și are o rezistență redusă la compresiune. Prin urmare, cărămizile din acest amestec se sparg foarte ușor la margini.

Firma germană Haacke a dezvoltat un amestec de plută, diatomit și paie, împreună cu niște celuloză, care poate fi pulverizat pe un perete ca o tencuială izolatoare. Densitatea este între 300 și 450 kg/m3. Valorile k măsurate sunt de la 0,07 la 0,08 W/mK, rezistența măsurată la difuzia vaporilor între 4 și 19 și raportul de contracție între 1% și 2%.

Loam de lemn ușor

Rumegul, așchii de lemn și așchii pot fi, de asemenea, utilizate ca agregate ușoare pentru a crește capacitățile de izolare termică a argintului. Deoarece lemnul are o densitate mai mare decât paiele sau pluta, izolația termică a amestecului respectiv este evident mai mică. Densitatea minimă care poate fi atinsă este de aproximativ 500 kg/m3, dar un amestec uscat de această densitate nu mai posedă suficientă rigiditate. Pericolul creșterii și putrezirii ciupercilor este mult mai mic decât în cazul paielor, dar încă există.

Este de dorit din punct de vedere ecologic să se utilizeze așchii din ramuri și porțiuni de copaci neutilizate altfel în lucrările structurale. Cu toate acestea, acestea conțin cantități destul de mari de scoarță și, prin urmare, sunt susceptibile la creșterea și putrezirea ciupercilor.

Loam spumos

Pentru a face spumă, trebuie să fie fără nisip și pietriș și în stare plastică. Deoarece argil cu această consistență are nevoie de o perioadă lungă de uscare, este greu posibil să-l spumeze folosind agenți obișnuiți, cum ar fi cei utilizați pentru spumarea betonului. Prin urmare, argintului trebuie să i se administreze aditivi care accelerează procesul de uscare, cum ar fi geopolimerii descriși în acest capitol, p. 43, în care argila, cuarțul și pulberea de cretă sunt amestecate cu sticlă de apă și spumă cu peroxid de hidrogen (H2O2). Acest proces produce un lut spumos cu o densitate de 90 kg/m3. Acest material se întărește în două ore la o temperatură de 20°C și într-o oră la 50°C. Acest produs, fabricat de firma germană Huls AG, are o rezistență la compresiune de 10 până la 20 kg/cm2, căldură specifică de 0,2 kJ/kgK, conductivitate termică de 0,10 până la 0,12 W/mK și o valoare a pH-ului între 9 și 10. Este un material ideal pentru a forma elemente de pământ prefabricate de dimensiuni mari. Compania germană Lorowerk folosește o tehnică similară pentru a produce elemente mari pentru izolarea termică. Produsele cu densități de 300 kg/m3 ating o conductivitate termică de 0,08 W/mK. Consumul de energie primară este de numai 5 kWh/m3.

terasamente ammed

Pe toate cele cinci continente, pământul batut a fost binecunoscut de secole ca o tehnică tradiţională de construcţie a pereţilor. De fapt, fundaţiile de pământ batut găsite în Asiria datează încă din anul 5000 î.Hr.

Cu tehnicile cu pământ batut, pământul umed este turnat într-un cofraj în straturi de până la 15 cm grosime şi apoi compactat prin batere. Cofrajul constă de obicei din doi pereţi paraleli separaţi şi legaţi între ele prin distanţiere (5. 1). Această tehnică se numeşte pise de terre sau terre pise în franceză; numele spaniol este barro apisonado sau tapial; iar cuvântul german este Stampflehmbau.

Tehnicile tradiţionale de pământ batut sunt încă folosite în multe ţări în curs de dezvoltare. Sistemele de cofraj rafinate şi baterea electrică sau pneumatică reduc în mod semnificativ forţa de muncă şi fac ca tehnicile de pământ batut să fie relevante şi în unele ţări industrializate. Din motive ecologice, şi uneori şi din motive economice, tehnologia pământului batut mecanizat poate fi o alternativă viabilă la zidăria convenţională, mai ales în acele ţări industrializate în care nu sunt necesare standarde înalte de izolare termică. Multe firme folosesc această tehnologie în sud-vestul SUA şi în Australia.

În comparaţie cu tehnicile de lut umed (vezi capitolul 9), raportul de contracţie al pământului batut este mult mai mic, iar rezistenţa mult mai mare. În comparaţie cu zidăria din chirpici (vezi capitolul 6), pământul batut - deoarece este monolitic - oferă avantajul unei durate mai lungi de viaţă.

Tehnicile de construcţie a pereţilor de pământ şi a domului sunt descrise în secţiunile următoare. În capitolul 15 sunt descrise o tehnică specială de pământ batut întărit cu bambus rezistent la cutremure, precum şi podelele de pământ batut.

Cofraj

La cofrajele tradiţionale, scândurile de pe ambele părţi sunt ţinute deoparte şi ţinute împreună cu distanţiere (5.1). Aceste distanţiere străpung peretele, provocând deschideri care trebuie umplute după îndepărtarea cofrajului. Un sistem cu distanţiere de tracţiune foarte subţiri (4 x 6 mm) care pătrund în perete a fost dezvoltat la Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor (BRL) (5.2). Pentru a elimina complet acest dezavantaj, au fost dezvoltate sisteme fără distanţiere (vezi p. 56 din acest capitol).

După cum se arată în 5.4, cofrajele fără distanţiere intermediare care sunt contravântuite pe ambele părţi necesită mult spaţiu şi îngreunează considerabil mişcarea pe şantier.

Cu un cofraj special, se pot forma şi colţuri rotunjite şi pereţi curbaţi (5.5). Un hambar circular construit în 1831 în Bollbrugge, Germania, cu pereţi de pământ batut de 90 cm grosime este prezentat în 5.6.

Sistemele obişnuite de cofraj utilizate în tehnologia betonului pot fi utilizate şi pentru pământul batut, dar de obicei se dovedesc a fi prea grele şi costisitoare. În Europa, panourile din lemn de 19 mm grosime sunt utilizate în mod obişnuit. Acestea trebuie să fie rigidizate cu elemente verticale la intervale de aproximativ 75 cm. Dacă nu se face acest lucru, ei se vor îndoi în exterior în timpul lovirii. Prin urmare, ar putea fi mai economic să alegeţi plăci mai groase, cu grosimea de 30 până la 45 mm, care necesită rigidizare doar la intervale de 100 până la 150 cm. Dacă solul este foarte argilos, forma nu trebuie smulsă, ci în schimb alunecată de pe pământul zdruncinat fără probleme de-a lungul suprafeţei, prevenind astfel să fie stricat de particulele de argilă lipite de formă. În plus, nu este de dorit nici să existe o suprafaţă prea aspră (cum ar fi cheresteaua tăiată cu ferăstrău), nici una prea netedă (cum ar fi cheresteaua lăcuită şi rindeluită).

Dacă cofrajul nu este optimizat pentru această tehnică, atunci până la 30% din totalul forţei de muncă ar putea fi investit pur şi simplu în ridicarea, reglarea şi demontarea cofrajului. Prin urmare, trebuie avute în vedere următoarele puncte:

Plăcile trebuie să fie rigide, astfel încât să nu se îndoaie spre exterior în timp ce se efectuează lovirea.

Toate piesele trebuie să fie suficient de uşoare pentru a fi transportate de doi lucrători.

Cofrajul trebuie să fie uşor de reglat atât în direcţia verticală, cât şi în cea orizontală.

Variaţiile grosimii peretelui trebuie să fie controlabile în limitele unei toleranţe specificate.

Este de preferat ca marginile să nu necesite cofraje speciale. Prin urmare, cofrajul ar trebui să permită turnarea unor lungimi diferite de perete.

Instrumente

Pe vremuri, pământul era batut manual, folosind berbeci cu baze conice, în formă de pană sau plate (5.7).

Dacă se folosesc berbeci conici sau în formă de pană, se amestecă mai bine diferitele straturi şi, cu condiţia să fie suficientă umiditate, se obţine o legătură mai bună. Cu toate acestea, acest lucru durează mai mult decât lovirea cu berbeci plate. Pereţii bătuţi cu berbeci cu bază plană prezintă o rezistenţă laterală mai mică la forfecare şi, prin urmare, ar trebui să fie încărcaţi doar vertical. Baza berbecului nu trebuie să fie prea ascuţită, astfel încât cofrajul, dacă este făcut din lemn, să nu fie deteriorat. Baza nu trebuie să fie mai mică de 60 cm2 şi nu mai mare de 200 cm2. Greutatea berbecului trebuie să fie între 5 şi 9 kg. Este de preferat

să folosiţi un berbec cu două capete cu un cap rotund pe o parte şi unul pătrat pe cealaltă. Acest lucru permite ca berbecul să fie folosit cu partea rotundă pentru lucrări generale şi cu marginea pătrată pentru a compacta eficient colţurile. Un astfel de berbec este folosit şi astăzi în Ecuador (5.8).

Berbecii electrici şi pneumatici au fost folosiţi încă din al doilea sfert al secolului al XX-lea în Germania, Franţa şi Australia. Berbecul electric prezentat în 5.9, construit de Ger-

Wacker, a fost adesea folosit în vremuri pentru lucrul cu pământ batut şi s-a scris pe larg. Are o acţiune ca un ciocan, cu o ridicare de 33 mm şi o frecvenţă de 540 de mişcări pe minut. Berbecul este foarte eficient; singurul său dezavantaj fiind dificil de manevrat, deoarece cântăreşte 24 kg. Nu mai este fabricat.

În Australia, în anii 1950, a fost folosit un berbec pneumatic (5.10). Acesta acţionează ca un ciocan pneumatic, are o frecvenţă de 160 de lovituri pe minut şi cântăreşte 11 kg.

În mod normal, uneltele de compactare a solului de tipul celor utilizate în construcţia drumurilor sunt improprii pentru terasamentul batut, deoarece frecvenţa lor este prea mare şi ridicarea lor prea mică. Uneltele care doar vibrează ar putea fi potrivite pentru soluri nisipoase, dar nu şi pentru cele argiloase.

Berbecii pneumatici prezentati în 5.11 sunt extrem de eficienţi pentru lucrări de terasament. Ram II G, produs de firma Atlas- Copco, este destul de potrivit deoarece o caracteristică specială împiedică rotirea capului său, asigurând astfel că şi capetele pătrate pot fi utilizate în mod convenabil. Toţi berbecii ilustraţi necesită o presiune de 6 bar şi un debit de aer de 0,4 până la 0,9 m3/min. Datorită costurilor ridicate şi a infrastructurii şi energiei necesare pentru a le rula, aceşti berbeci sunt utilizaţi doar pentru proiecte de construcţii mai mari. Un berbec de vibraţii electrice a fost dezvoltat la BRL şi fabricat de firma Heuser (5.12 şi 5.13). Motorul său are o frecvenţă de 1000 până la 1200 de cicluri pe minut. Cea mai importantă parte a acestui berbec vibrant este baza sa cu formă specială, care permite aparatului să se deplaseze singur în interiorul cofrajului în timp ce compactează pământul. Poate compacta solul afânat în straturi de 7 cm grosime.

Metoda de construcţie

În aproape toate tehnicile tradiţionale de pământ batut, cofrajul este îndepărtat şi remontat orizontal pas cu pas. Aceasta înseamnă că pământul este bătut în straturi de 50 până la 80 cm înălţime, formând linii de această înălţime înainte de mutarea cofrajului. Când un curs este complet, următorul curs care este zdrobit este mai umed decât cel deja pe loc, care este parţial uscat. Prin urmare, există o contracţie mai mare în

cursul superior decât cel inferior, ducând la fisuri de contracţie orizontale la îmbinare (5.14). Acest lucru poate fi periculos, deoarece apa capilară poate intra în această articulaţie şi rămâne, provocând umflături şi dezintegrare. După cum se poate observa în aceeaşi figură, în astfel de pereţi pot apărea şi fisuri verticale.

Cu tehnica franceza pise, aceasta problema a fost rezolvata prin folosirea unui strat de mortar de var deasupra fiecarui curs inainte de a pune unul nou. Un mortar de var se întărește timp de câteva săptămâni și rămâne plastic până când argila nu se mai micșorează; uneori chiar și îmbinarea laterală dintre secțiunile cursului este realizată cu mortar în pantă (5.16).

O altă metodă pentru a evita fisurile de contracție orizontale este să bateți astfel încât peretele să fie produs pe verticală. Acest lucru este descris mai detaliat mai jos.

Formarea deschiderilor

Cofrajul poate fi demontat imediat după terminarea batonării. În același timp, acest pământ batut poate fi modelat cu ușurință prin răzuire, tăiere, culegere sau zgâriere. În mod normal, inserțiile sunt lăsate în cofraj pentru a crea deschideri. Cu toate acestea, cu pământ batut, deschiderea poate fi tăiată cu mult mai puțin efort cu un cuțit sau o sârmă ghimpată folosită ca ferăstrău. Această tehnică permite, de asemenea, modelarea stâlpilor și pragurilor, așa cum se arată în 5.15. Trebuie menționat că în această etapă pământul batut a dobândit deja o rezistență suficientă pentru a prinde cuiele (pot fi bătuți în perete fără a face o gaură de ghidare cu un burghiu).

Noi tehnici de construcție a pereților

Panouri de pământ batut

Pentru a preveni fisurile de contracție orizontale la îmbinările verticale în construcția tradițională cu pământ batut, la BRL a fost dezvoltată o nouă tehnică de producere a panourilor cu înălțimea unui etaj, cu lățimi de până la 2,4 m, în proces de batere continuă. Această tehnică evită îmbinările orizontale, iar îmbinările verticale care apar sunt închise numai după ce contracția este completă. Pentru stabilitatea laterală, îmbinările verticale sunt realizate într-un model cu caneluri. Nu apar fisuri de contracție în interiorul panourilor pentru aceste dimensiuni. Reducerea lungimii datorată contracției este vizibilă doar la îmbinare. (articulația acționează ca o articulație de contracție pre-proiectată). Pentru a evita un cofraj care ar trebui să aibă un etaj întreg în înălțime, la BRL a fost dezvoltat un cofraj de alunecare. Ilustrația 5.19 prezintă designul din oțel, în timp ce 5.17 și 5.18 arată un design ulterioară din lemn (care s-a dovedit mai ușor de lucrat).

Cofrajul este distanțat în partea inferioară doar cu o bară de oțel, care lasă un orificiu foarte mic după demontare. Spațiul superior este poziționat deasupra nivelului superior al peretelui și nu interferează cu procesul. După cum arată figurile, este posibil să se folosească fie o soluție mai simplă, cu un distanțier de lemn deasupra fixat de elementele verticale, formând astfel un jug, fie o versiune mai sofisticată din oțel, care permite și ajustări fine ale distanței în partea superioară. Prima clădire care folosește această tehnică a fost construită la Universitatea din Kassel în 1982 (5.21). Solul conținea aproximativ 10% argilă și aproximativ 50% nisip. Pământul a fost lovit de vibratorul descris la p. 55 și prezentate în 5.12 și 5.13. Contracția liniară a acestor elemente a fost de numai 0,4%. După uscare, rosturile au fost umplute cu un argil stabilizat cu 8% ulei de in fiert dublu. O

surplosă a acoperişului de 60 cm şi o plintă de 50 cm au fost suficiente pentru a se asigura că peretele nu se eroda şi că nu necesita tratament de suprafaţă.

Tehnici extrem de mecanizate

Firma Rammed Earth Works a construit mai multe case de pământ în California, utilizând un cofraj special din placaj gros, aşa cum se arată în 5.20. Pământul a fost umplut în forme cu un basculant şi compactat cu un berbec pneumatic. Prin acest mijloc, aportul de muncă ar putea fi de până la 2 h/m3. În Australia, mai multe firme utilizează, de asemenea, acest tip de proces de construcţie înalt mecanizat (5.22 şi 5.23). În ultimele decenii, pe continentul australian au fost construite peste o sută de clădiri din pământ batut (Oliver, 1985). Ilustraţia 5.24 arată o biserică din Margaret River proiectată de Hodge şi Wilson şi construită de firma Ramtec. După cum se vede în 5.25, chiar şi coloanele care susţin structura acoperişului sunt realizate din pământ batut.

În 1992, în Australia a fost construit hotelul Kooralbyn Valley Resort (arhitecţi: I. Hannaford, F. Raadschelders, D. Oliver), unde toţi pereţii sunt din pământ batut netencuit (5.27 şi 5.28).

Structură de cadru cu umplutură cu pământ batut La Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, (CEPED) din Salvador, Brazilia, a fost dezvoltată o tehnică simplă pentru a construi panouri subţiri de umplutură cu pământ batut. A fost folosit în mai multe proiecte de locuinţe low-cost din Brazilia. Stâlpii şi grinzile inelare au fost în mod normal realizate din beton armat prefabricat. Laturile cofrajului au fost montate direct pe stâlpi. Astfel, grosimea peretelui era aceeaşi cu cea a stâlpului (5.26). În acest caz, argila a fost stabilizată cu 6% până la 8% ciment.

Construcţie perete cu cofraj pierdut

Ca şi în cazul tehnicilor de pământ batut, costul cofrajului este destul de mare. În unele cazuri, este de preferat să se folosească un perete subţire de zidărie sau elemente de izolare termică rigide din materiale lemnoase ca cofraje pierdute, astfel încât fie să nu fie nevoie de cofraje, fie doar cofraj unilateral. De asemenea, este avantajos dacă acest cofraj poate contribui la o creştere substanţială a izolaţiei termice. Rigiditatea acestui cofraj pierdut trebuie să fie suficientă pentru a avea grijă de impacturile laterale create de lovire. Ilustraţia 5.29 prezintă secţiuni orizontale printr-un perete exterior. Primele două cazuri prezintă o frunză interioară construită din chirpici sau blocuri de pământ şi un strat exterior de pământ batut realizat cu lut mineral uşor, care este tencuit direct. În acest caz, cofrajul este necesar doar pentru faţa exterioară. În cel de-al doilea caz, se obţine o rigiditate ceva mai bună a frunzei interioare de chirpici sau bloc de pământ datorită modelului de lipire din componente. În secţiunea din dreapta, cofrajul pierdut este la exterior şi este realizat din blocuri de sol uşor stabilizate.

Ilustraţia 5.30 prezintă secţiuni verticale ale pereţilor exteriori care au pierdut cofraj pe ambele părţi. Frunza interioară poate fi realizată din chirpici sau blocuri de pământ,

elemente mai mari de lut prefabricat sau plăci rigide de placaj, plăci de gips-carton armat cu fibre sau plăci de lemn de magnezit sau lipite cu ciment.

Protecţia suprafeţei peretelui împotriva elementelor poate fi realizată prin ipsos, zidărie sau lambriuri din lemn cu cavitate de aer.

5.19

5.22

5.23

5.24

5.24 - 5.25 Biserica, Margaret River, Australia

Structură încadrată cu umplutură cu pământ batut (CEPED, Brazilia)

la 5.28 Hotel, Kooralbyn, Australia

Secţiuni orizontale ale pereţilor de lut uşor zdruncinaţi cu frunză interioară sau exterioară de blocuri de pământ care acţionează ca cofraj pierdut

Secţiuni verticale de pereţi de pământ batut cu cofraj pierdut pe ambele părţi

5,28 5,27

Domuri de pământ batut

Probabil că primul dom de pământ batut a fost construit de BRL din Kassel, Germania, în 1983, folosind o tehnică specială dezvoltată de acel laborator. Acesta constă într-o formă de alunecare rotativă în care pământul este lovit (5.31,5.32, 5.33).

Grosimea cupolei a fost de 18 cm în partea de jos şi de 12 cm în partea de sus. Pereţii, care formează un hexagon la interior, au fost şi ei din pământ batut. Pentru a transfera forţa de la cupolă la fundaţie, s-au integrat contraforturi cu pereţii. Modelarea vârfului contraforturilor, precum şi a ferestrelor s-a făcut cu un cuţit de bucătărie la scurt timp după formare.

5.30 lucrarea a fost demontată. Cofrajul peretelui a fost proiectat la comandă conform planului cupolei, aşa cum se vede în 5.31. Pământul a fost batut în cofraj cu ajutorul unui vibrator, descris la p. 55 din acest capitol (vezi 5.12) şi manual.

Cofrajul cupolei în sine a fost proiectat astfel încât să poată fi ridicat nu doar în centru, curs după curs; avea si un ghidaj care regla automat raza si inclinarea cofrajului (5.33).

Uscare

Rareori se poate spune când un zid de lut este uscat, dar procesul de uscare este în orice caz mai rapid decât cel al pereţilor din zidărie sau beton (vezi capitolul 2, p. 28). Având în vedere vremea caldă uscată şi mişcarea suficientă a aerului, contracţia se opreşte după doar câteva zile. După trei săptămâni, peretele se simte complet uscat, deşi conţinutul de apă este încă puţin mai mare decât conţinutul de umiditate de echilibru.

Aportul de muncă

Aportul de muncă în pereţii tradiţionali de pământ batut construiţi manual, inclusiv pregătirea, transportul şi construcţia, este de la 20 până la 30 h/m3. Prin rafinarea sistemului de cofraj şi utilizarea vibratorului electric descris la p. 55 din acest capitol (vezi 5.12), aportul de muncă este redus la 10 h/m3. Cu tehnicile foarte mecanizate explicate mai sus (vezi p. 56), în care transportul şi umplerea se realizează cu un basculant şi compactat cu berbeci pneumatici grei, aportul de muncă poate fi redus la doar 2 h/m3, ceea ce reprezintă doar 10% din forţa de muncă folosită în tehnicile tradiţionale şi semnificativ mai puţin decât cea necesară pentru lucrările de zidărie.

Izolatie termica

Capacităţile de izolare termică ale pereţilor de pământ strâns care utilizează sol normal nu sunt suficiente pentru a asigura nivelurile de izolare termică necesare în climatele reci. Valoarea U a unui perete de pământ batut de 30 cm grosime este de 1,9 până la 2,0 W/m2K. Pentru a obţine o valoare U de 0,5 W/m2K, necesară în multe ţări europene, ar fi necesară o grosime de 1,6 până la 1,8 m. Prin urmare, în climatele reci, ar trebui utilizat fie un perete gros de lut uşor, fie o izolaţie termică convenţională suplimentară.

Câteva metode potenţiale de realizare a pereţilor de lut cu izolaţii termice îmbunătăţite sunt descrise în capitolul 14, p. 108.

Tratarea suprafeţei

Un zid de pământ batut necesită mai puţină forţă de muncă şi materiale pentru tratarea suprafeţei în comparaţie cu pereţii realizaţi folosind alte tehnici de construcţie din pământ. De regulă, nu este nici necesar şi nici recomandabil să tencuiţi un perete de pământ batut. Dacă suprafaţa este spălată cu o mistrie din pâslă umedă imediat după demontarea cofrajului, atunci se produce cu uşurinţă o suprafaţă netedă, una care poate fi vopsită sau tapetată

(în cazurile care implică suprafeţe de perete interior). În cazul în care suprafeţele exterioare astfel tratate sunt protejate de ploaie prin surplonţe de acoperiş şi împotriva stropirii de un soclu, un strat de vopsea este suficient pentru a le proteja împotriva intemperiilor. Trebuie avut grijă ca acoperirile să nu se decojească şi să nu se crape.

orking cu blocuri de pământ

Blocurile de pământ produse manual prin aruncarea pământului umed într-un cofraj sunt numite „chirpici” sau „cărămizi de noroi” sau „blocuri de pământ uscat la soare”. Când pământul umed este compactat într-o presă manuală sau electrică, elementele comprimate astfel formate se numesc „blocuri de sol”. În starea lor necoaptă, cărămizile produse de un extruder într-o fabrică de cărămidă sunt numite „cărămizi verzi”. Aceste trei tipuri de blocuri au de obicei aceeaşi dimensiune ca şi cărămizile coapte. Blocurile mai mari, compactate într-un cofraj prin batere, se numesc „blocuri de pământ batut”.

Unele ţări au măsurători standardizate pentru aceste blocuri. Cele două dimensiuni utilizate cel mai frecvent în Germania, de exemplu, sunt:

NF (format normal) = 71 x 115 x 240 mm

2DF (format dublu subţire) = 113 x 115 x 240 mm.

Ilustraţia 61 prezintă diferite forme şi dimensiuni de cărămizi verzi produse industrial printr-un proces de extrudare comun pe piaţa germană. Aplicaţiile specifice ale acestor diferite tipuri de blocuri în pereţi, podele, bolţi şi cupole sunt descrise în capitolul 14.

Istorie

Clădirea cu blocuri de pământ este răspândită în toate climatele cald-uscate, subtropicale şi moderate. În Turkestan au fost găsite clădiri din bloc de pământ datând între 8000 şi 6000 î.Hr. (Pumpelly, 1908), iar cele din cca. 4000 î.Hr. în Asiria. Vizibile şi astăzi în Egiptul de Sus sunt structuri monumentale vechi de aproximativ 3200 de ani, cum ar fi uriaşul zid de fortificaţie din blocuri de pământ de la Medinet Habu şi bolţile depozitelor din zona templului lui Ramses II de lângă Gourna (1.1).

Tehnica de realizare a boltilor si cupolelor din blocuri de pamant fara suport in timpul constructiei (centrare sau cofrare) era cunoscuta de multe culturi (vezi capitolul 14, p. 117). Timp de secole, indienii Pueblo din Taos, New Mexico, şi-au construit casele folosind pământul din locurile lor, apa din pâraiele din apropiere şi paie de pe câmp (6.3).

Nucleul istoric al oraşului Shibam, Yemen, care acoperă aproximativ 20.000 m2 şi accesibil doar printr-o singură poartă, a fost construit în întregime din chirpici. Multe case seamănă cu zgârie-nori şi datează din secolul al XV-lea (6.2).

În Scandinavia şi în Anglia, construcţia cu gazon era comună în secolele al XVII-lea şi al XVIII-lea. Aceste case au fost construite din blocuri tăiate din stratul superior de sol argilos împreună cu iarba care creştea pe el. Blocurile au fost inversate şi folosite ca cărămizi pentru a forma pereţi fără mortar. Imigranţii europeni au adus această tehnică în SUA, unde

au fost construite un număr mare de case de gazon în secolele al XVIII-lea şi al XIX-lea (6,4). Unii colonişti au adaptat, de asemenea, aceeaşi idee de la naţiunile indiene din America de Nord, cum ar fi Omaha şi Pawnee, care de secole au folosit metoda de a-şi acoperi colibe rotunde cu gazon (Houben, Guillaud, 1984).

În New Mexico, blocurile de sol mâloase tăiate din albiile râurilor şi care conţin o reţea de rădăcini care acţionează ca armătură au fost folosite pentru construirea pereţilor. Aceste blocuri sunt numite terronis sau terrones şi au fost uneori folosite şi în Mexic şi America Centrală. Este interesant de observat că codurile de construcţie din New Mexico încă permit construirea cu terronis.

În Germania, lucrarea cu blocuri de pământ a fost folosită în secolul al VI-lea î.Hr.; blocuri de chirpici de 40 x 40 cm şi 6 până la 8 cm înălţime au fost folosite în fortul Heuneburg de lângă Lacul Constanţa (Dehn, 1957). Aproximativ 140.000 de blocuri şi 400 m3 de mortar au fost folosite pentru a construi pereţii săi înalţi de 3 m (Guntzel, 1986, p. 23). O circulară oficială care introduce utilizarea chirpiciului în pereţi a fost publicată în

1764 (Guntzel, 1986, p. 23). David Gilly a publicat manuale despre construcţia din chirpici în 1787 şi 1790.

Producţia de blocuri de pământ

Adobe-urile sunt realizate fie prin umplerea formelor cu un amestec de lut pastos, fie prin aruncarea de bulgări umede de pământ în ele. Se pot folosi diferite tipuri de matrite; unele dintre acestea sunt prezentate în 6.5. De obicei sunt fabricate din lemn. Tehnica aruncării este folosită în mod obişnuit în toate ţările în curs de dezvoltare (6.7, 6.8 şi 6.9). Aici se amestecă cu apă un lut nisipos, iar de obicei se adaugă paie tăiate şi întregul format într-o pastă care se aruncă în forme de lemn. Cu cât este mai mare forţa cu care este aruncat argila, cu atât este mai bună compactarea şi rezistenţa la uscat. Suprafaţa este netezită fie manual, fie cu o bucată de lemn, mistrie sau sârmă (6.6).

O persoană poate produce aproximativ 300 de blocuri pe zi (inclusiv pregătirea amestecului, trans-

portare şi stivuire). În India, o persoană poate produce până la 500 de blocuri pe zi folosind o matriţă dublă proiectată pentru o cărămidă mai mică. Pentru a facilita lucrul, cărămizile pot fi turnate pe masă, aşa cum se întâmpla în mod tradiţional în Germania (6.10). O altă metodă uşoară foloseşte matriţe cu mânere de 80 cm lungime, care le permit lucrătorilor să fabrice cărămizi în picioare (6.11). Tehnicile de producere a blocurilor de sol comprimat erau cunoscute în Europa în secolul al XVIII-lea. În 1789, arhitectul francez Francois Cointreaux a dezvoltat o presă pentru blocuri de sol acţionată manual. De atunci, au fost

concepute numeroase prese cu acţionare manuală. Cea mai cunoscută presă la nivel mondial este CINVA Ram, dezvoltată în Columbia de inginerul chilian Ramirez (6.12). Ilustraţia 6.13 arată Ramul CETA în funcţiune. Este similar cu CINVA Ram şi a fost dezvoltat în Paraguay. Permite producerea simultană a trei blocuri. Presele cu acţionare manuală de acest tip produc presiuni de până la 5 până la 25 kg/cm2 şi necesită trei până la cinci persoane pentru o funcţionare optimă. În ciuda producţiei mecanizate de blocuri de sol cu ajutorul preselor, producţia per persoană pe zi este de numai 150 până la 200 de blocuri, considerabil mai mică decât cea a metodei primitive care implică aruncarea lutului în matriţe.

Avantajul acestor prese mecanizate este însă că pot fi folosite argiluri cu conţinut mai mic de apă. Acest lucru face posibilă stivuirea blocurilor imediat după producţie.

Dezavantajul este că blocurile sunt de obicei stabilizate cu un conţinut de ciment de 4% până la 8% pentru a le dota cu o rezistenţă suficientă. Acest lucru este necesar din cauza absenţei fie a apei suficiente, fie a unui impact dinamic adecvat capabil să activeze semnificativ forţele de legare ale mineralelor argiloase. Fără ciment, blocurile presate au, de obicei, o rezistenţă la compresiune uscată mai mică decât cea a chirpicurilor lucrate manual (vezi p. 44).

Un alt dezavantaj al unor astfel de prese este că amestecul de sol trebuie menţinut la un nivel constant de umiditate şi compoziţie. Dacă compoziţiile variază, atunci atât volumul

materialul de umplut şi presiunea se modifică. Acest lucru duce la variaţii ale înălţimii şi rezistenţelor blocurilor. Presele de fabricare a blocurilor complet automate, cum ar fi cele prezentate în 6.14 şi 6.15, pot produce 1500 până la 4000 de blocuri zilnic. Cu toate acestea, necesită investiţii mari şi pot fi dificil de întreţinut, în special în ţările în curs de dezvoltare. Pentru a asigura o consistenţă uniformă a lutului, astfel de maşini necesită adesea concasoare şi mixere separate.

Presele complet automate sunt economice numai dacă au o durată lungă de viaţă, sunt utilizate pe scară largă zilnic şi dacă materie primă de

chiar şi consistenţa este disponibilă local şi în cantităţi suficiente. În caz contrar, costurile de capital, întreţinere şi reparaţii diminuează rapid orice potenţiale avantaje economice. În ţările cu salarii mici, producţia manuală de chirpici este de obicei mai economică, la fel ca şi producţia de cărămizi verzi în fabricile de cărămidă din ţările industrializate. În ţările industrializate, producţia de cărămidă folosind astfel de maşini ar fi economică doar dacă costurile de transport ar fi mari. (Pentru mai multe informaţii despre blocurile de sol presat, vezi Mukerji, 1986; Smith şi Webb, 1987; Mukerji, 1988; şi CRATerre, 1991).

Metoda de producţie dezvoltată în SUA de Hans Stumpf şi patentată în 1946, şi constând dintr-un aparat de fabricare a blocurilor, pare comparativ mai eficientă (6.16 şi 6.17). Cu această metodă, argila este pregătită până la o consistenţă pastosă într-un mixer forţat şi apoi se toarnă într-o pâlnie mare care se mişcă peste o grilă de matriţe. Formele sunt umplute, iar partea superioară şi blocurile sunt apoi netezite mecanic. O pârghie ridică această grilă, lăsând blocurile separate să se usuce pe sol. După o perioadă de uscare preliminară, blocurile pot fi întoarse pe marginile lor pentru o uscare uniformă.

În fabricile de cărămidă mecanizată, pământul zdrobit este amestecat şi împins cu role într-un extruder, unde este din nou amestecat şi presat printr-un muştiuc acţionat cu vid în profile lungi, care sunt apoi tăiate cu o sârmă. Uscarea se realizează în cuptoare folosind energie comercială. Deoarece întregul proces este computerizat în fabricile de cărămidă industrializate, poate fi dificil să comandaţi cărămizi verzi şi

6.18

preturile cotate sunt uneori mai mari decat cele pentru caramizile ars obisnuite. Cu procese de producţie mai simple şi uscare în aer liber, pe de altă parte, a fost posibil, în cel puţin un caz german, să se obţină cărămizi verzi care sunt cu 40 % mai ieftine decât preţul cărămizilor ars obişnuite.

Compoziţia materialului

Argila folosită în fabricile obişnuite de cărămidă necesită un conţinut ridicat de argilă pentru a obţine o rezistenţă suficientă după ardere. Ilustraţia 6.21 prezintă o distribuţie tipică a granulelor de sol a acestui tip de argilă, care conţine 24% argilă, 50% nămol, 23% nisip şi 3% pietriş. Atunci când lut din această compoziţie este utilizat pentru lucrul cu blocuri de pământ, creează probleme de umflare şi micşorare la umezire şi, respectiv, la uscare. Ilustraţia 6.19 arată crăpăturile care apar atunci când aceste cărămizi verzi au fost utilizate într-un proiect în care un zid a fost udat de ploaia bruscă în timpul construcţiei.

Distribuţia granulometriei solului a unui lut nisipos mai slab adecvat pentru blocurile de pământ este prezentată în 6.22. Prezintă 14% argilă, 22% nămol, 62% nisip şi 2% pietriş şi nu prezintă fisuri de contracţie după uscare.

În general, se poate afirma că blocurile de pământ ar trebui să aibă suficient nisip grosier pentru a le permite să atingă o porozitate ridicată (şi, prin urmare, o rezistenţă ridicată la îngheţ) şi o rezistenţă ridicată la compresiune cu o contracţie minimă. Dar, în acelaşi timp, trebuie să existe suficientă lut pentru a crea suficientă forţă de legare pentru ca blocul să fie manipulat.

Aşezarea blocurilor de pământ

Este important să adăpostiţi blocurile de pământ de ploaie la faţa locului. În ţările industrializate, de regulă, cărămizile verzi, comandate din fabrici, sunt paletizate şi acoperite în întregime cu plastic. Blocurile de pământ sunt aşezate fie cu mortar de argilă, mortar de var hidraulic sau mortar de var hidraulic înalt. Deşi la aceste mortare pot fi adăugate cantităţi mici de ciment, mortarul de ciment pur nu este recomandabil, deoarece este prea rigid şi fragil. Pentru a evita fisurile de contracţie în interiorul mortarului în timpul uscării, mortarul trebuie să conţină cantităţi suficiente de nisip grosier. Conţinutul de argilă poate varia de la 4% la 10%. Formarea fisurilor de contracţie poate fi evitată şi atunci când stratul de mortar este mai subţire decât de obicei. Este o plăcere să lucrezi cu mortar de argilă, deoarece nu este abraziv pentru piele. Mortarul de var, însă, atacă pielea şi poate provoca, de asemenea, alergii.

6.19

6.20

6.21

Dimensiunea granulaţiei (mm)

Curba de distribuţie a granulometriei a lutului utilizat într-o fabrică de cărămidă

Curba optimizată de distribuție a granulelor pentru chirpici

Perete de bloc de pământ expus finisat cu şlam de lut-var, Bendigo, Australia

Rafturi fixate pe un perete de bloc de pământ

Cărămizi uşoare nearse produse industrial

Dacă blocurile sunt scufundate în apă pentru o perioadă scurtă de timp pentru a face suprafaţa moale şi flexibilă, devine posibil să se construiască pereţi din blocuri de pământ fără a utiliza mortar. Aceste blocuri înmuiate pot fi stivuite pur şi simplu, ca în cazul oricărei lucrări de zidărie uscată, şi se vor lega. O astfel de muncă, totuşi, necesită un ochi foarte fin şi o manoperă calificată, deoarece este dificil de controlat îmbinările orizontale şi modelul, deoarece nu este disponibilă nicio toleranţă a grosimii mortarului.

Blocurile de pământ pot fi tăiate mult mai uşor decât cărămizile coapte, folosind, de exemplu, ferăstraie obişnuite, aşa cum se vede în 6.20. Dacă sunt necesare părţi ale blocurilor, acestea pot fi fie tăiate direct, fie tăiate la adâncimi de aproximativ 2 cm, după care secţiunile pot fi rupte cu o lovitură de ciocan. În locul unui ferăstrău, o canelură poate fi înţepată şi cu o mistrie sau un cuţit înainte de a folosi ciocanul.

Tratarea suprafeţei

Dacă este umezită suficient cu o unealtă cum ar fi o mistrie de pâslă, zidăria de bloc de pământ expus cu suprafeţe sau îmbinări neuniforme poate fi netezită cu uşurinţă. Tencuiala nu este recomandată, deoarece interferează cu capacitatea pereţilor de argilă de a echilibra umiditatea interioară a aerului (vezi capitolul 1, p. 16). Cu toate acestea, zidăria din blocuri de pământ expus poate, dacă nu este acceptabilă din punct de vedere estetic, să primească o spălare cu nămol de lut stabilizat, de exemplu, cu var, var, limecazeină etc. (6.23) Această spălare afectează şi stabilitatea suprafeţei peretelui (pentru mai multe detalii despre tratarea suprafeţei, vezi capitolul 12, p.98).

Fixarea elementelor de fixare pe pereţi

Cuiele pot fi băgate în pereţii blocului de pământ mai uşor decât în cei construiti din cărămizi coapte. Cu cât materialul este mai poros şi umed, cu atât mai uşor se poate înfige un cui prin el. Cărămizile verzi tind să se despartă mai uşor decât blocurile de sol şi chirpici. Dacă se folosesc cuie foarte groase, este indicat să găuriţi o gaură în bloc. Rafturile grele sau dulapurile suspendate pot fi fixate cu uşurinţă pe perete folosind şuruburi şi dibluri. Oricum, găurile pentru dibluri ar trebui să fie găurite suficient de mari pentru a preveni

crăparea blocurilor. În 6.24, rafturile grele sunt fixate pe un perete de cărămidă verde folosind dibluri şi şuruburi.

Blocuri de lut uşor

Aşa-numitele blocuri de lut uşor sau cărămizi verzi au o greutate specifică mai mică de 1200 kg/m3 şi constau din sol argilos cu agregate uşoare precum paie, rumeguş, fibre celulozice, plută, perlit, piatră ponce sau argilă expandată. Datorită efectelor lor bune de izolare termică, sunt folosite pentru pereţii exteriori în climat rece sau rece. Ilustraţia 6.25 prezintă unele dintre aceste cărămizi nearse care sunt produse industrial în Germania.

Caramizi verzi acustice speciale

Pentru a optimiza comportamentul acustic al încăperilor cu cupolă, autorul a dezvoltat o cărămidă specială de lut cu colţuri rotunjite (6.27). Colţurile rotunjite şi efectul de corbeling al cărămizilor (6.26) oferă o bună distribuţie a sunetului, în timp ce o bună absorbţie a sunetului este produsă de rosturile tăiate şi găurile din cărămidă. Ilustraţia 6.28 prezintă un perete înalt de 6 m de cărămizi (verzi) nearse, introdus pentru a îmbunătăţi comportamentul acustic al halei.

blocuri arge si panouri prefabricate

Cu pereţi monolitici de pământ batut, sau chiar cu zidărie de cărămidă de dimensiuni mici, forţa de muncă este mare, iar timpul de uscare poate întârzia lucrările de construcţie din cauza apei inerente. Prin urmare, au fost dezvoltate mai multe idei care implică elemente prefabricate mai mari. răsturnat în poziţiile lor finale (vezi 7.1 şi 7.2). Folosind astfel de blocuri, un perete de 50 cm grosime oferă o valoare U de 0,3 W/m2K. Dufter a ghidat mai multe proiecte de tip do-it-yourself folosind aceste blocuri. Într-un caz, familia de

proprietari-constructori a produs 1500 de blocuri în cinci săptămâni, suficiente pentru întreaga lor casă.

Blocuri uşoare de lut mineral, care măsoară 15 x 15 x 30 cm, care sunt realizate din lut şi argilă expandată, au fost produse în Ungaria folosind straturi de ouă (de tipul celor utilizate la fabricarea blocurilor de beton) (7.3). Astfel de blocuri au fost folosite pentru a oferi izolaţie termică exterioară suplimentară unei case cu zid de pământ din Tata, Ungaria (7.4). Diferite secţiuni pentru panouri de perete mai mari realizate din lut mineral uşor şi dezvoltate de autorul acestei cărţi sunt prezentate în 75. Acestea pot fi utilizate fie în

Blocuri mari

Cu condiţia să fie suficient de uşoare pentru a fi purtate într-o singură mână, sau cel mult în ambele, blocurile mai mari pot fi aşezate mai repede. Agregatele uşoare şi cavităţile pot fi folosite pentru a reduce greutatea. Pentru o manevrare uşoară, prinderile ar trebui să fie încorporate în forme de bloc.

Blocurile de paie uşoare, 50 x 60 x 30 cm, folosite în mai multe proiecte de arhitectul german Sylvester Dufter, sunt mai eficiente pentru realizarea pereţilor. Deşi fiecare bloc cântăreşte 26 kg, acestea sunt produse sub acoperire şi aproape de perete, putând fi apoi aproape

pereţii interiori, sau pentru a creşte izolaţia termică a pereţilor exteriori din exterior. Cavităţile reduc greutatea şi măresc izolaţia termică, oferind simultan prindere pentru o manevrare uşoară. Ilustraţia 7.6 prezintă elemente similare care pot fi folosite pentru realizarea bolţilor.

Panouri de perete prefabricate

Elementele prefabricate, fiecare cu grosimea de 6 până la 12 cm şi cu dimensiunile cuprinse între 30 x 60 cm şi 62,5 x 100 cm, au fost utilizate pentru elementele neportante. Acestea ar trebui să fie făcute din lut uşor, cu densitatea de 800 până la 1.000 kg/m3. Panourile mai uşoare de 800 kg/m3 trebuie tăiate cu cherestea, deoarece rezistenţa marginilor lor este insuficientă pentru manipulare. Un element extrem de uşor cu o densitate de 550 kg/mc a fost dezvoltat de firma germană Breidenbach; este realizat din rogojini de stuf tencuit cu lut si acoperit cu o stofa de iuta.

Ilustraţia 7.7 prezintă un perete construit cu elemente „Karphosit", care sunt produse din pulbere de argilă şi butaşi de paie, şi au o densitate de 850 kg/m3. Măsoară 62,5 x 25 x 10 cm. Firma germană HDB Weissinger produce elemente de perete din lemn cu lăţimea de 1 m şi până la 3 m înălţime umplute cu lut uşor (7,8 şi 79).

Elementele de argilă care acționează ca umplutură între rosturile pardoselii asigură, de asemenea, izolare fonică și termică (710). În Ungaria, în 1987, autorul acestei cărți a dezvoltat elemente de umplere portante cu lut ușor stabilizat cu ciment. Ilustrația 711 prezintă un astfel de element împreună cu matrița sa. Ilustrația 712 ilustrează diferite modele pentru panourile de podea portante.

Placile prefabricate din pamant stabilizat pot fi folosite pentru pardoseli. Un avantaj este că, deoarece sunt deja uscate, contracția are loc doar în articulații. Miller, Grigutsch și Schulze (1947, p. 5) recomandă utilizarea Fe3O4, sânge de bou și gudron pentru a stabiliza aceste plăci și a le asigura duritatea suprafeței. Testele de la Laboratorul de Cercetare a Construcțiilor (BRL) au arătat că se poate obține un grad ridicat de duritate a suprafeței prin adăugarea a 6% ulei de in fiert dublu, împreună cu compactarea suprafeței și utilizarea ceară de podea ca lustruire. Metodele de creștere a durității suprafeței sunt descrise în capitolul 14, p. 112.

Ilustrația 7.13 prezintă plăci de lut verde extrudat constând dintr-un lut cu conținut ridicat de argilă. Sunt extrudate cu grosimea de 3 până la 10 cm, lățime de 50 cm și tăiate în lungimi de până la 100 cm sau mai mult. -

Formare directă cu lut umed

Spre deosebire de alte materiale de construcție, lutul umed are capacitatea de a fi format în orice formă. Prin urmare, reprezintă o provocare creativă pentru designeri și constructori. Modelarea manuală a pereților din bulgări de lut umed sau pastă groasă de lut este răspândită în Africa și Asia și este cunoscută și în Europa și America. Deoarece nu sunt necesare unelte pentru a lucra cu pământul, este cea mai simplă și primitivă tehnică. Amestecul preparat este utilizat direct (fără a se forma produse intermediare sau procese intermediare). Dezavantajul său este că chiar și argila slabă de doar 10% până la 15% argilă prezintă o contracție liniară de 3% până la 6% la uscare. Cu cât este mai mare conținutul de argilă și cu cât se folosește mai multă apă, cu atât este mai mare contracția. Pasta de argilă

groasă cu conţinut ridicat de argilă poate avea chiar şi un raport de contracţie liniar de peste 10%. Ilustraţiile 81 şi 8.2 prezintă un banc format cu elemente de lut umed unde contracţia nu a fost luată în considerare. Următoarele secţiuni explică modul în care fisurile de contracţie pre-proiectate de dimensiuni mai mici sau utilizarea elementelor curbate pot ajuta la reducerea sau chiar evitarea unor astfel de fisuri. Teoria care implică reducerea contracţiei prin modificarea compoziţiei lutului este explicată în capitolul 4, p. 39.

Tehnici tradiţionale de lut umed

În timp ce în cazul lucrărilor cu blocuri de pământ, elementele uscate sunt construite cu îmbinări de mortar, nu se foloseşte mortar la lucrul cu lut umed. Argila plastică este legată pur şi simplu prin lovire, lovire, apăsare sau aruncare.

În sudul Indiei, o tehnică foarte simplă a lutului umed este încă în uz astăzi: folosind o sapă, pământul este amestecat cu apă până la o consistenţă pastoasă, transportat la faţa locului în recipiente metalice echilibrate pe capul muncitorului şi turnat pe peretele care se construieşte. Se întinde apoi manual în straturi de 2 până la 4 cm grosime. Deoarece pasta se usucă destul de repede la soare, peretele poate fi construit continuu, strat cu strat.

În nord-estul Ghanei, se foloseşte o altă tehnică. Aici, se formează bile de pământ umed şi apoi se folosesc pentru a construi pereţi circulari pur şi simplu prin stivuire şi apăsare (8.3 şi 8.4). După ce peretele se usucă, suprafaţa este tencuită pe ambele părţi şi apoi netezită şi lustruită folosind pietre plate într-o mişcare rotativă de frecare. Ilustraţia 8.5 arată

un compus construit folosind o tehnică primitivă similară.

În nord-vestul Ghanei, pereţii de 40 cm grosime au fost construiţi cu bulgări de lut umed folosind o altă tehnică tradiţională. Aici, acestea sunt construite în straturi, astfel încât fiecare strat succesiv să se suprapună uşor pe cel anterior (8.6). Camerele acestor case sunt mai mult sau mai puţin dreptunghiulare, şi au colţurile rotunjite (8.7).

În nordul Yemenului, casele cu mai multe etaje au fost construite folosind o tehnică de lut umed numită zabur (8.8,8.9 şi 8.10). Aici, bulgări de lut de paie se modelează manual şi se aruncă cu impact puternic pentru a construi zidul în aşa fel încât să se compacteze şi să adere la bază, formând o masă omogenă. Suprafaţa este adesea bătută şi compactată prin lovire cu un fel de mistrie de lemn.

O tehnică de construcţie folosind bulgări de lut numită „cob” a fost răspândită în sud-vestul Angliei începând cu secolul al XV-lea şi a fost folosită cel puţin până în secolul al XIX-lea, în special în Devon. Hill descrie această tehnică după cum urmează: un bărbat stă cu o furcă cu trei capete pe soclul peretelui, în timp ce un al doilea bărbat formează bulgări mari cât doi pumni. Cel de-al doilea bărbat îi aruncă apoi moţurile primului, care le prinde de furcă şi, mergând cu spatele, le aruncă pe perete. Acolo unde este necesar, compactează şi peretele cu picioarele. În acest fel, se formează straturi de 50 până la 60 cm înălţime. Pentru a da un finisaj uniform, suprafaţa este feliată. Grosimile pereţilor sunt în general de 45 până la 60 cm (McCann, 1983). Ilustraţia 8.12 arată o casă, una încă locuită, la

8.7

8.4

8.8

8.9

Cockington (Devon, Anglia) care a fost construit folosind această tehnică în 1410.

O tehnică similară numită Wellerbau, este cunoscută în germană încă din epoca medievală şi a fost răspândită în special în Turingia şi Saxonia. Aici, paiul lut nu este format în bulgări ca în tehnica cob, nici compactat prin aruncare ca în tehnica zabur, ci este stivuit direct cu o furcă şi apoi compactat cu picioare sau berbeci (8.11). Peretele este construit în straturi de 80 până la 90 cm. După o scurtă perioadă de uscare, suprafaţa acestor straturi este netezită cu o cazma în formă de pană.

pus pe zi. După ce peretele este uscat, se foloseşte o tencuială de var grosime de câteva straturi. Prima astfel de casă a fost construită în 1925 (8,14). În următorii cinci ani, peste 300 de case au fost construite de cooperative, formate din muncitori şomeri la iniţiativa lui von Bodelschwingh. Întreaga familie a membrilor au participat la producţie şi construcţie.

Tehnica „pâine de lut Dunne".

Tehnici similare cu cele utilizate în

Slovacia şi Yemenul, descrise mai sus, erau cunoscute în Africa de Nord. Ei l-au inspirat pe Gustav von Bodelschwingh, un misionar german, să le adapteze la condiţiile germane. Tehnica rezultată îşi trage numele de la micul oraş Dunne, unde a fost folosită pentru prima dată.

Aici, pâinile umede de lut sunt stivuite în modele de zidărie, dar fără mortar. Pentru a asigura o mai bună aderență la tencuiala care se aplică ulterior, se face o gaură conică pe fața exterioară a fiecărei pâini folosind degetul (vezi 8.13). Trei până la cinci straturi sunt

8.12

La Laboratorul de Cercetare a Construcțiilor (BRL) a fost dezvoltată în 1982 o nouă tehnică de lut umed, denumită tehnica stranglehm („toron de lut”). Cu această tehnică pot fi

construite pereţi, bolţi şi cupole. Chiar şi mobilierul încorporat şi articolele sanitare, aşa cum este descris în capitolul 14, p. 133, poate fi format.

Producţia de elemente stranglehm

Pentru a produce profile de lut umed, BRL a dezvoltat un aparat de extrudare. Folosind această maşină, se pot produce profile de lut umed de 8 x 16 cm în secţiune cu o viteză de 2 m pe minut (1,4 m3/h). Acest prototip, care a fost aranjat vertical, aşa cum se vede în 8.15, a fost ulterior rafinat, producând o producţie de 3 m pe minut (2 m3/h) folosind un aranjament orizontal, aşa cum se vede în 8.16. Maşina constă dintr-o secţiune de alimentare cu doi cilindri contrarotativi, care amestecă materialul înainte de a-l transporta într-o secţiune cu cuţite rotative pentru amestecare. Materialul este apoi mutat într-un angrenaj melcat, care creează o presiune suficientă pentru a forţa materialul să iasă din piesa bucală de extrudare.

Testele cu 30 de amestecuri diferite, inclusiv unele care conţin paie, rumeguş şi ace de pin, au arătat că reducerea contracţiei şi creşterea producţiei au fost neglijabile, indicând că munca şi efortul suplimentar implicat în introducerea acestor aditivi nu merită. Cu toate acestea, adăugarea de zer a crescut uşor producţia şi a oferit o rezistenţă mai bună la apă şi duritate la suprafaţă. Pudra de cazeină şi apa pot fi înlocuite cu zer. Amestecul pentru această tehnică trebuie să aibă un conţinut de argilă mai mare decât cel pentru blocurile de pământ batut. Un conţinut de argilă de 15% a fost considerat avantajos. Elementele de argilă cu conţinut mai scăzut de argilă prezentau fisuri la colţuri. Conţinutul trebuie optimizat astfel încât profilul finit să fie suficient de uscat pentru a fi manipulat, dar suficient de umed pentru a adera atunci când este stivuit în perete.

Aşezarea elementelor

În prima clădire de testare realizată la Universitatea din Kassel, Germania, în 1982 (8.17 şi 8.18), profilele extrudate de 2 m lungime au fost transportate pe o placă şi răsturnate pe perete. Imbinarile au fost finisate prin presarea lor cu mainile goale sau cu un bat de modelat. Deoarece greutatea straturilor superioare nu poate fi lăsată să stoarce materialul inferior, sunt posibile doar trei până la cinci straturi într-o zi.

Deoarece aceste profile au prezentat o contracţie de aproximativ 3%, a fost necesară reumplerea fisurilor de contracţie care au apărut. Deoarece acest lucru a fost laborios, la următoarea aplicare a acestei tehnici într-o casă rezidenţială din Kassel, Germania, în 1984, s-au folosit doar profile de 70 cm lungime. Rezultatele au arătat că la această lungime şi cu contracţie pre-proiectată

îmbinări distanţate la 70 cm, nu apare nicio contracţie în elementele în sine. Extruderul a fost poziţionat în centrul casei pentru a minimiza distanţele de transport.

trei părţi cu elemente verticale din lemn de 4 x 4 cm în secţiune la 0,7 m/centre. Ele acţionează ca nişte limbi care se potrivesc în elementele de argilă pentru a oferi stabilitate laterală. Pentru a asigura separarea acestor elemente în timpul procesului de uscare se face o tăietură cu mistria, astfel încât rosturile să acţioneze ca îmbinări de contracţie prestabilite. La uscare, acest gol se lărgeşte din cauza contracţiei şi poate fi umplut în mod favorabil când este uscat cu un amestec de var, gips, nisip şi argilă. Este foarte uşor să neteziţi suprafaţa acestor elemente cu un burete umed (8.23), deşi pentru a obţine un efect bogat texturat şi obişnuit (aşa cum se vede în fotografii), se poate face mai mult modelare manual înainte de burete. Ilustraţia 8.24 arată umplerea unei îmbinări de contracţie cu lut uşor umed folosind un ciocan şi o unealtă de lemn.

Ilustraţiile 8.26 şi 8.27 arată pereţii finisaţi. Peretii compusi din aceste elemente pot fi modelati usor in stare umeda; un exemplu finit este prezentat în 8.25, unde a fost adăugat material pe perete, precum şi sculptat din acesta.

Perete interior finisat din profile de lut extrudat

Ziduri stranglehm terminate, resedinta, Uchte, Germania (1986)

Variaţii ale pereţilor exteriori şi interiori folosind stranglehm

la 8.30 Realizarea de pereţi stranglehm în diferite modele

Tipuri de perete

Datorită contracţiei de 3% până la 5%, elementele lungi nu sunt recomandate. Ilustraţia 8.28 prezintă mai multe posibilităţi pentru pereţii interiori şi exteriori folosind elemente mai scurte. Soluţia C din această figură este destinată numai pereţilor exteriori. Spaţiul dintre cei doi pereţi de lut extrudat poate fi umplut cu material în vrac uşor, cum ar fi particule de plută, argilă expandată, piatră ponce etc., pentru a creşte izolarea termică. În acest spaţiu pot fi poziţionate şi elemente structurale. Dacă ceilalţi pereţi ilustraţi trebuie prevăzuţi cu izolaţie termică, o soluţie comună este dată în 8.31, valoarea U a peretelui ilustrat fiind de 0,295 W/m2K.

Ilustraţiile 8.27, 8.29 şi 8.30 arată lucrările efectuate la o casă rezidenţială din Germania, cu profile mai mici de lut extrudat obţinute dintr-o fabrică de cărămidă. Datorită procesului de producţie, acest lut trebuia să aibă un conţinut mai mare de argilă, provocând un număr mare de probleme de contracţie; repararea fisurilor apărute s-a dovedit a fi foarte consumatoare de timp.

8.29

8.30

et umplutură de lut în structurile scheletului

ani pentru a umple golurile din casele din buşteni unde buştenii sunt aşezaţi orizontal, precum şi în palisade (unde trunchiurile copacilor sunt poziţionate vertical). În casele tradiţionale europene Fachwerk (încadrate de lemn), precum şi în structurile americane, africane şi asiatice, lut umed (conţinând de obicei paie tăiate) este aruncat pe o plasă împletită de crengi, ramuri, beţe de bambus şi altele asemenea (9.7). După cum se arată în acest capitol, există multe variante ale acestei tehnici. Tehnicile moderne de umplere care utilizează dispozitive mecanice pentru a reduce forţa de muncă sunt descrise în acest capitol.

Loam aruncat

Tehnicile de lut aruncat au fost folosite în toate climatele tropicale, subtropicale şi moderate ale lumii şi sunt probabil mai vechi decât practicile de blocaj de pământ şi pământ. Aceste tehnici de uzură sunt numite bahareque, bajareque, bareque sau quincha în spaniolă şi lehmbewurf în germană.

Astfel de structuri constau din elemente verticale şi orizontale care formează o reţea. Sistemele europene folosesc de obicei elemente verticale din lemn împletite cu crengi (9.4). Lotul, de obicei amestecat cu paie tăiate, şi uneori cu fibre, este aruncat sau presat pe această reţea astfel încât să acopere cel puţin 2 cm din toţi membrii. Dacă acest înveliş nu este suficient de gros şi fisurile nu sunt bine reparate, pereţii se deteriorează rapid (9.3). Consistenţa mortarului utilizat este uşor de verificat prin scăparea unei mingi cu diametrul de 10 cm de la o înălţime de 1 m pe o suprafaţă dură. Dacă diametrul discului aplatizat astfel format măsoară 13 până la 14 cm, consistenţa este pe măsură.

Ilustraţiile 9.2 şi 9.5 prezintă o variaţie a tehnicii wattle-and-daub în care dimensiunea ochiului este mai mare (până la 20 cm una dintre ele) şi există o reţea exterioară şi o reţea interioară. Spaţiile din grila astfel formată sunt umplute cu bulgări de argilă. Pietrişul grosier sau chiar pietrele sunt uneori folosite şi ca umplutură. Tipul de perete prezentat în 9.5 este construit din componente prefabricate şi a fost utilizat în mai multe proiecte de locuinţe la preţ redus din Bahia, Brazilia.

Loam pulverizat

Deoarece tehnicile de stropire necesită foarte multă muncă, s-au făcut diferite încercări de a folosi maşini de pulverizare pentru a aplica

amestecuri. Principala problemă cu toate aceste tehnici a fost apariţia obişnuită a fisurilor de contracţie.

Arhitectul german Hans-Bernd Kraus a dezvoltat o tehnică în care un amestec de argilă subţire este pulverizat simultan cu rumeguş uscat (de la o duză separată). Ambele spray-uri se amestecă înainte de a lovi peretele. Straturi de 4 până la 6 cm grosime sunt pulverizate pe plăci de lână de lemn folosite ca cofraj pierdut.

Plăcile din vată de lemn asigură, de asemenea, o izolare termică considerabilă (9.6). Un alt lut uşor pulverizabil utilizat pentru îmbunătăţirea izolaţiei termice a pereţilor este descris în capitolul 11, p. 95.

Rulouri şi sticle de lut de paie

În Germania şi Franţa, deschiderile din cadrele caselor tradiţionale cu cadru din lemn sunt uneori umplute cu elemente formate prin rularea lutului de paie în jurul unei şipci de lemn, aşa cum se vede în 9.7 şi 9.8. Aceasta este mai puţin intensă de muncă decât tehnica de ţesătură şi are avantajul suplimentar că aproape că nu apar fisuri de contracţie.

Sunt utilizate două sisteme principale: fie o frânghie de paie scufundată în lut este înfăşurată elicoidal în jurul unei şipci, fie o covoraşă de paie lipită cu lut este rulată pe o şipcă. Aportul de muncă al acestor tehnici este încă mai mare decât a celor care utilizează tehnici „de lut" (vezi capitolul 8). O variaţie a tehnicii de rulare a fost testată cu succes la Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor (BRL). S-a folosit un mortar de argilă cu un conţinut ridicat de nisip grosier, care a fost lipit pe o plasă de sârmă din metal sau plastic (folosit în mod obişnuit pentru mortare de armare). Argila a fost lipită pe plasă cu o grosime de 2 cm şi ambele au fost rulate în jurul unui baston de bambus pentru a forma elemente de umplutură (9.9, 9.10 şi 9.11). În mod surprinzător, cu această tehnică au apărut fisuri de contracţie.

Ilustraţia 9.12 ilustrează tehnica tradiţională germană de construcţie cu „sticle de lut". Aici, elementele verticale secundare sunt fixate la o distanţă de 15 până la 20 cm în cadrul cadrului. „Sticlele" se fac luând mase de 1,5 litri din amestec şi picurându-le

pe centrul unei cruci formate din două mănunchiuri de paie. Capetele mănunchiurilor sunt apoi ridicate în jurul lutului, care s-a format sub formă de sticle şi acoperit cu lut. Sticla este apoi ţinută orizontal, iar gâtul înfăşurat în jurul elementului vertical, în timp ce fundul este apăsat pe gâtul sticlei anterioare.

Umplutură cu lut uşor

Deoarece nu reuşesc să asigure o izolaţie termică suficientă, tehnicile tradiţionale descrise în secţiunile anterioare nu pot fi utilizate în construcţiile moderne în climă rece. Pentru a asigura izolarea termică, cadrele pot fi umplute cu amestecuri de lut uşor (sau exteriorul acoperit cu straturi de materiale termoizolante utilizate în mod obişnuit). Această tehnică are avantajul de a consuma mai puţină forţă de muncă şi nicio contracţie. Sistemele cu

efecte termoizolante mai mari sunt prezentate în capitolul 14, p. 108. Aditivii uşori sunt descrişi în capitolul 4, pp. 48 până la 51.

Umpleţi cu furtunuri stranglehm şi umplute cu pământ

Soluțiile moderne de umplere a deschiderilor în structurile cu schelet din lemn sau casele cu cadru din lemn cu furtunuri stranglehm sau umplute cu pământ sunt descrise în capitolul 8, p. 75 și capitolul 10, p.89.

amplificat, turnat sau pompat argint uşor

Acest capitol prezintă câteva tehnici care utilizează argint uşor prin tasare, turnare sau pompare pentru sistemele de podea, pereţi sau acoperiş. Diferitele tipuri de lut uşor sunt examinate în capitolul 4, în timp ce capitolul 9 discută cum poate fi folosit lut uşor ca umplutură pentru structurile cu cadru din lemn şi schelet. Tencuiala pulverizată este descrisă în capitolul 11. Proiectele speciale pentru pereţi care oferă o izolaţie ridicată sunt discutate în capitolul 14, iar măsurile suplimentare de izolare termică folosind lut uşor sunt abordate în capitolul 13.

Cofraj

Pereţii de lut uşor pot fi construiţi folosind orice tip de cofraj, dar deoarece este implicat un impact mai mic decât în cazul lucrărilor de terasament, plăcile de cofraj pot fi mai subțiri. Diverse posibilități sunt prezentate în secţiunea orizontală în 10.1.

Pentru a reduce numărul de scânduri, se utilizează adesea cofrajele cataratoare. Patru tipuri de acest sistem sunt ilustrate în 10.2. Când lucraţi cu lut mineral uşor, este chiar posibil să folosiţi doar un cofraj unilateral. Acest lucru se poate face cu o scândură la exterior, caz în care amestecul poate fi aruncat pe ea din interior cu mâna sau cu mistria.

Pereţi de lut de paie uşor tamponaţi

Prepararea amestecului este descrisă în capitolul 4, p. 46. Amestecul este aruncat în cofraj în straturi de 10 până la 20 cm înălţime, fie manual, fie (mai de obicei) cu o furcă şi compactat cu tampere de mână uşoare.

De menţionat că amestecurile de lut uşor tind să se aşeze, astfel încât golurile care se formează trebuie verificate şi ulterior reumplute. Elementul de testare cu o înălţime de un metru prezentat în 10.3 a afişat o stabilizare de 9%.

Mai trebuie mentionat ca atunci cand se lucreaza cu amestecuri foarte usoare (cu densitati sub 600 kg/mc) si cu pereti mai mult

10.3

10.4

10.5

cu o grosime de peste 25 cm, paiele pot putrezi în interiorul peretelui. Ilustraţia 10.4 prezintă un exemplu de perete de 30 cm grosime construit din lut de paie uşor, cu o densitate de 350 kg/m3. După câteva luni, când exteriorul părea să fie complet uscat, miezul a fost urmărit pentru o instalaţie electrică şi sa constatat că putrezește. Chiar şi elementul structural din lemn a fost atacat de microorganisme la adâncimi de 2 cm (Schmitt, 1993). Cu pereţii uşori, păduchii de lemn pot apărea şi pot mânca paiele. Prin urmare, este întotdeauna recomandabil ca stivele de paie să fie complet etanşate de lut, ceea ce înseamnă că amestecul trebuie să aibă o densitate mai mare de 600 kg/m3.

Pereţi de lut din lemn uşor tamponaţi

Aşchii de lemn şi rumeguş sunt adesea folosite ca agregate uşoare în loc de paie. Acestea sunt mai uşor de amestecat cu lut, dar au un grad mai mic de efect de izolare termică, iar uscarea durează foarte mult. Ilustrația 10.5 arată peretele de 50 cm grosime al unei clădiri istorice restaurate a cărei lemn-

membrii roţilor au fost total distruşi de ciuperci, deoarece perioada de uscare a lutului lemnos a fost mai mare de un an.

Pereţi de lut mineral uşor tamponaţi, turnaţi sau pompaţi

Lotul mineral uşor poate fi tamponat în cofraj ca şi lut de paie. Dar poate fi şi turnat sau pompat dacă consistenţa este corectă. De asemenea, absoarbe mai puţină apă (prin urmare se usucă mai repede), prezintă o creştere mai mică a ciupercilor, o rezistenţă mai mare la uscat, o rezistenţă mai mare la difuzia vaporilor şi o duritate mai mare a suprafeţei decât lut de paie şi lut de lemn. Diverse agregate minerale uşoare sunt descrise în capitolul 4, p. 49.

Aşezarea luturilor de paie uşor

Decupat din peretele de lut de paie uşor cu interior putrezit

Perete de lut din lemn uşor, distrus de ciuperci

Creşterea unui zid de pământ de argilă şi piatră ponce, Pujili, Ecuador

Modelarea unui pervaz cu ajutorul unei macete

Amestecarea argintului mineral uşor

109 Turnare lut mineral uşor

Pereţi tamponaţi

Ilustraţia 10.6 arată construcţia unei clădiri în Pujili, Ecuador, folosind piatră ponce ca agregat uşor amestecat în lut şi uşor tamponat într-un cofraj. Cofrajul a fost imediat demontat după terminarea peretelui. Peretele a arătat un grad ridicat de rezistenţă, deşi era încă posibil să se taie deschiderile ferestrelor şi să se formeze praguri cu o macetă, aşa cum se arată în 10.7.

Pereţi turnaţi

Cel mai simplu mod de a face un perete din lut mineral uşor este să-l turnaţi pur şi simplu într-un cofraj (10.9). În acest caz, amestecul a fost preparat într-un mixer de forţă, prezentat în 10.8. Cu această tehnică, este chiar posibil să se utilizeze o betoniere obişnuită de ciment, în care suspensia de lut este turnată peste agregat în timp ce acesta este răsucit (10.11). Aici, suspensia a fost preparată cu un mixer manual acţionat electric, prezentat în 10.10. Cofrajul a fost pur şi simplu lăsat deschis pe o parte pentru porţiunea superioară a peretelui, iar amestecul a fost aruncat în el şi tamponat cu o bucată plată de cherestea.

Într-o casă cu două etaje din Tata, Ungaria, a fost realizat un perete portant de 50 cm grosime cu un amestec de lut şi lut expandat. Amestecul a fost turnat în cofraj printr-o pâlnie transportată de o macara, metodă folosită în mod obişnuit în construcţiile din beton (10.12).

O metodă simplă de reducere a cheltuielilor este utilizarea unui cofraj pierdut din stuf pe una sau două laturi ale peretelui (10.13). Ilustraţiile de la 10.14 la 10.16 arată cum poate fi utilizat un cofraj textil pierdut, proiectat de autor. O bucată de ţesătură îşi menţine forma şi este tensionată de cabluri fixate pe cadrul din lemn. Acest lucru oferă o idee despre varietatea nelimitată de texturi creative de suprafaţă.

Pereţi pompaţi

Pentru proiecte mai mari, mai ales dacă există firme care să producă lut mineral uşor, este recomandabil să pompaţi amestecul în cofraj cu ajutorul pompelor de mortar sau beton. Consistenţa trebuie să fie a

10.14

puţin mai subţire decât pentru turnare. Poate fi pompat până la înălţimi de două etaje folosind furtunuri. Ilustraţia 10.17 prezintă exemplul unei case cu lemn de 300 de ani, restaurată în Germania, unde amestecul a fost pregătit cu o betoniere mobilă obişnuită, canalizat într-o pompă şi apoi canalizat la cofraj.

Tratarea suprafeţei

După îndepărtarea cofrajului, suprafaţa pereţilor de lut mineral presaţi, turnaţi sau pompaţi cu densităţi de 600 până la 900 kg/m3 poate fi observată a fi destul de dura, deşi rugoasă (10.18). Această suprafaţă trebuie doar tencuită cu un singur strat subţire (spre deosebire de echivalentul

10.17

pereţi lut pai care necesită cel puţin două straturi). În 10.19, vedem un perete de lut mineral uşor, cu o densitate de 1000 kg/m3, care este răzuit de o greblă imediat după decofrare. Aceasta formează o suprafaţă frumoasă, cu textura grosieră, care trebuie să fie văruită mai târziu, economisind astfel tencuiala.

Podele de lut mineral uşoare pompate

Locul mineral uşor pompat în ţevi este potrivit în special pentru parter şi plăci intermediare. Ilustraţia 10.20 prezintă o secţiune verticală a unui parter cu izolaţie termică ridicată, care în climatele reci oferă o senzaţie caldă şi confortabilă la intrare. Ilustraţia 10.21 ilustrează posibilitatea utilizării lutului mineral uşor ca umplutură turnată in situ între grinzile podelei. Dacă acest lut mineral are o densitate mai mare de 1.000 kg/m3, serveşte ca o bună barieră pentru zgomotul aerian şi oferă o bună stocare termică.

Covor

Loam uşor

Izolatie termica

Bariera rezistenta la umezeala

Pietriş grosier

10.20

10.18 10.19

10.22

Blocuri goale umplute cu lut

În țările industrializate, există multe tipuri diferite de blocuri goale disponibile, care sunt de obicei umplute cu beton. Sunt realizate din materiale precum piatră ponce legată în mortar de ciment, argilă expandată, vată de lemn legată de ciment, nisip legat de var, lut copt sau polistiren spumat. Dacă peretele nu este portant, se poate folosi și lut în loc de lut de umplutură din beton. Elementele portante pot fi integrate cu acești pereți sau plasate în interiorul pereților, așa cum se arată în 10.22.

Transportul şi pomparea argintului mineral uşor

Suprafaţa unui perete de lut uşor din lut argilos şi argilă expandată (8-16 mm) după îndepărtarea cofrajului

Razuirea peretelui de lut mineral usor pentru a obtine o suprafata texturata (fara a folosi tencuiala)

Secţiune verticală prin podea cu lut mineral uşor 1021 Lut mineral uşor utilizat ca umplutură în podelele din lemn

10.22 Blocuri goale umplute cu lut care formează un colţ cu diferite poziţii ale stâlpilor structurali 1023 Furtunuri de umplere cu lut mineral uşor folosind o pompă

10.24 până la 10.25 Umplerea manuală a furtunurilor cu lut mineral uşor folosind o pâlnie

Furtunuri umplute cu lut

O nouă tehnică, dezvoltată de autorul acestei cărţi, a fost folosită în 1992 pentru trei reşedinţe din Kassel, Germania. Deşi aspectul exterior al pereţilor realizati prin această tehnică este similar cu cel realizat cu tehnica de fabricare a stranglehm descrisă în capitolul 8, producţia, manipularea şi aşezarea este destul de diferită. Cu această tehnică, un furtun elastic din bumbac este umplut cu un amestec uşor de lut mineral. Furtunul poate fi umplut fie folosind o pompă (vezi 10.23), fie manual printr-o pâlnie (vezi 10.24 şi 10.25). Când se atinge lungimea necesară, furtunul este tăiat, iar capătul este întins şi înnodat. Datorită întăririi oferite de ţesătură, aceste furtunuri umplute cu lut pot fi apoi manipulate cu uşurinţă. Înainte de a fi aşezate pe un perete, acestea sunt netezite cu mâinile, astfel încât nişte lut să curgă şi să formeze o acoperire subţire de lut pe ţesătură. Atunci când sunt stivuite, aceste acoperiri de argilă se lipesc împreună (10.26 şi 10.27). Deoarece aceste furtunuri pot fi modelate cu uşurinţă, fără a se rupe, pot fi create modele sculpturale atractive (vezi 10.28 şi 10.30).

După aşezare şi uscare, suprafaţa poate fi netezită cu uşurinţă cu o perie umedă.

În peretele prezentat în 10.31, furtunuri de 70 cm lungime sunt aşezate între stâlpi verticali de 4 x 4 cm întoarse la 45°, sau elemente triunghiulare fixate pe stâlpii principali ai capătului peretelui, prezentate în secţiunea 10.29.

De regulă, trei până la cinci straturi pot fi stivuite pe zi, dar pentru a crește acest număr se poate adăuga niște ciment pentru a accelera procesul de uscare. Capitolul 13, p. 106 explică modul în care aceste furtunuri pot fi utilizate pentru a crește izolația termică a pereților.

10.30

10.26 - 10.28 Realizarea unui perete de baie din furtunuri ușoare din bumbac umplute cu lut

Secțiune orizontală a unui perete cu furtunuri umplute cu lut

Peretele grădinii de iarnă realizat din furtunuri umplute cu lut care acţionează ca stocare a căldurii şi pentru echilibrul umidităţii

Perete interior realizat din furtunuri umplute cu lut

11 L

tencuieli de oam

11.2

11.3

Tencuielile de argilă constau în principal din nisip şi nămol, cu doar atâta lut cât este necesar (de obicei între 5% şi 12%) pentru dezvoltarea forţelor lor de lipire şi lipire. Este dificil de determinat proporţiile unui tencuială lutoasă ideală, deoarece nu numai proporţiile de argilă, mătase şi nisip influenţează proprietăţile amestecului. Alţi factori care

afectează compoziţia sunt distribuţia granulometrică a fracţiei de nisip în sine, conţinutul de apă, tipul de argilă, metoda de preparare şi aditivii. Pentru a testa gradul de adecvare a tencuielilor lutoase, trebuie testate mostre cu compoziţii variate. Dacă suprafaţa este suficient de aspră, atunci tencuielile de lut se lipesc bine nu numai de suprafeţele de lut, ci şi de cele din cărămidă, beton şi piatră. Pentru capacitatea tencuielilor lutoase de a echilibra umiditatea aerului din interior vezi capitolul 1. suficient de dur pentru a dezvolta o bună legătură fizică. Dacă zidăria urmează să fie tencuită, în special atunci când se utilizează cărămizi mai mari şi foarte netede, se recomandă tăierea unei caneluri de 45° cu o mistrie în rosturi, aşa cum se arată în 11.1. O altă metodă de a obţine o lipire bună atunci când pereţii de lut batut sunt tencuiţi este să-i umeziţi suficient până când suprafeţele sunt moi şi apoi să zgâriaţi şanţurile cu model diagonal în ele cu o greblă mică sau cu o mistrie de cuie (11.2 şi 11.3).

Pentru a asigura o bună aderenţă a tencuielii, suporturile de ipsos pot fi aplicate sub formă de plasă de sârmă zincată, plasă de plastic, covoraşe de stuf etc.

Compoziţia tencuielii argiloase

Pregătirea terenului

Deoarece tencuiala lutoasă nu reacţionează chimic cu solul, suprafaţa trebuie să fie. Pentru a menţine tencuiala lutoasă fără fisuri de contracţie, trebuie avute în vedere următoarele puncte:

• Locul trebuie să conţină suficient nisip grosier.

Trebuie adăugat păr de animal sau uman, fibre de cocos sau sisal, paie tăiate sau fân (totuşi, prea mult din aceşti aditivi reduc capacitatea tencuielii de a adera la sol).

Pentru tencuielile interioare, se pot folosi ca aditivi rumegușul, fibrele celulozice, pleava de cereale sau particule similare.

Pentru a dezvolta suficientă forţă de legare, forţele adezive ale mineralelor argiloase trebuie activate suficient de o cantitate adecvată de apă şi de mişcare.

Când tencuiala se lipește de o mistrie metalică glisantă ţinută vertical, dar este uşor de îndepărtat, s-a obţinut consistenţa corectă.

Pentru a testa caracteristicile unei tencuieli lutoase, se poate efectua un simplu test de aderenţă. Tencuiala de testat se aplică cu o grosime de 2 cm pe suprafaţa plană a unei cărămizi coapte în poziţie verticală. Tencuiala trebuie să se lipească de cărămidă până când este complet uscată, ceea ce poate dura două până la patru zile.

Dacă tencuiala cade dintr-o singură bucată de la sine, așa cum se vede în mostra din stânga la 11.4, atunci este prea argilos și ar trebui să fie diluat cu nisip grosier. Dacă cade în porțiuni după ce proba este bătută pe podea, ca a doua probă din 11.4, atunci are o forță de legare insuficientă și ar trebui să fie îmbogățită cu argilă. Dacă tencuiala se lipește de cărămidă, dar prezintă fisuri de contracție, cum ar fi a treia probă din 11.4, este prea argilos și ar trebui să fie ușor diluat cu nisip grosier. Cu toate acestea, poate fi folosit fără subțiere ca prim strat de tencuială în două straturi. Dacă suprafața nu prezintă crăpături și tencuiala nu se desprinde atunci când este lovită cu ciocanul, ca în cea de-a patra eșantion văzută în 11.4 (dreapta), atunci proba ar putea fi adecvată. In acest caz, este indicat sa faceti un test mai mare, de aproximativ 1 m latime si 2 m inaltime, pe peretele propriu-zis. Dacă acum apar fisuri de contracție, atunci amestecul trebuie fie diluat cu nisip grosier, fie amestecat cu fibre.

Tencuieli exterioare argiloase expuse

Tencuielile exterioare expuse trebuie fie să fie rezistente la intemperii în mod sezonier, fie trebuie să aibă un strat perfect rezistent la intemperii. In climatele reci, este important ca tencuielile, impreuna cu invelisurile lor, sa aiba o rezistenta redusa la difuzia vaporilor, astfel incat apa condensata in perete sa poata fi usor transportata in exterior. Pentru a face fata influentelor termice si hidrice fara fisurare, tencuiala exterioara trebuie sa fie mai elastica decat solul sau. Pentru climatele reci, în general, nu este recomandată o tencuială de argilă exterioară, cu excepția cazului în care se poate asigura o probă suficientă a acoperișului, o protecție a plintei și o bună acoperire a suprafeței.

Deoarece marginile pereților tencuiți sunt foarte ușor de deteriorat, acestea ar trebui fie rotunjite, fie acoperite cu un element rigid. În climatele extreme, când elasticitatea unor întinderi mari de tencuială plată este insuficientă pentru a face față efectelor intemperiilor, se recomandă șanțurile verticale și orizontale umplute cu etanșanți elastici. Capitolul 4 discută posibilitățile generale de reducere a contracției și de îmbunătățire a rezistenței la intemperii și a durității suprafeței.

Tencuieli de lut interior

Tencuielile interioare sunt mai puțin problematice. De regulă, crăpăturile fine de contracție nu cauzează probleme, deoarece pot fi acoperite cu straturi de vopsea. Suprafețele de tencuială de argilă uscată pot fi netezite cu ușurință prin umezire și prelucrate cu o perie sau o mistrie din pâslă.

Dacă suprafața pereților necesită o tencuială mai groasă de 15 mm, aceasta trebuie aplicată în două straturi, stratul de pământ conținând mai mult argilă și agregate grosiere decât al doilea. Dacă stratul de pământ capătă fisuri de contracție, acest lucru nu este problematic și ar putea fi chiar benefic prin asigurarea unei aderențe mai bune la stratul final de tencuială. Adăugarea de făină de secară îmbunătățește lucrabilitatea tencuielii și sporește rezistența suprafeței împotriva abraziunii uscate și umede. Prin testare, autorul acestei cărți a dovedit că o astfel de rezistență poate fi construită și prin adăugarea de lipici de cazeină format din

1 parte var hidraulic și 4 până la 6 părți brânză albă fără grăsimi, borax, uree, gluconat de sodiu și ziar mărunțit (care oferă fibre de celuloză și lipici). Următoarele amestecuri au funcționat bine:

Varul reacționează cu cazeina din brânza fără grăsimi pentru a forma un agent chimic de impermeabilizare. O reacție similară se obține cu var și borax (care este conținut în ziarul mărunțit). Gluconatul de sodiu acționează ca un plastifiant, astfel încât mai puțină apă trebuie să fie amestecată pentru preparare (reducând astfel contracția). Ureea crește rezistența la încovoiere la compresiune și tracțiune, în special în solurile mâloase (vezi capitolul 4, p. 43).

Deșeurile de hârtie mărunțite duce la o mai bună lucrabilitate și reduce contracția. Amestecurile B, C și E au prezentat cea mai bună lucrabilitate. Când folosiți amestecurile A și E, cel mai bine este să începeți prin a amesteca lipiciul de cazeină și ziarul mărunțit împreună cu apă și adăugați lut și nisip după o oră.

Cu toate amestecurile, s-a constatat că atunci când netezirea finală a fost executată cu ajutorul mistriei de pâslă, cel mai bine era să așteptați câteva ore sau chiar o zi.

Ghid pentru tencuirea pereților de pământ

Deoarece tencuiala lutoasă pură nu reacționează chimic cu solul, ar putea fi necesar să se trateze pământul, astfel încât să poată avea loc o întărire suficientă. În acest sens, trebuie avute în vedere următoarele îndrumări:

Suprafața pământului de tencuit trebuie să fie suficient de uscată, astfel încât să nu se producă o contracție suplimentară.

Toate materialele libere trebuie răzuite de pe suprafață.

Terenul trebuie să fie suficient de dur și, dacă este necesar, umezit și canelat sau îmbinarea mortarului trebuie să fie teșită, așa cum este descris mai sus în acest capitol.

Înainte de tencuire, solul trebuie umezit suficient pentru ca suprafața să se înmoaie și să se umfle, iar tencuiala să pătrundă în stratul moale.

Tencuiala trebuie aruncată cu impact puternic (pălmuit) astfel încât să pătrundă în straturile exterioare ale pământului și să obțină o forță de legare mai mare din cauza impactului.

Dacă tencuiala trebuie să aibă o grosime mai mare de 10 până la 15 mm, trebuie aplicată în două

sau chiar trei straturi pentru a evita fisurile de contracție.

7 Pentru a reduce fisurile de contracţie în timpul uscării, mortarul trebuie să conţină cantităţi suficiente de nisip grosier, precum şi fibre sau păr.

Pentru a îmbunătăţi duritatea suprafeţei, în stratul superior trebuie adăugat bălegar de vacă, var, cazeină sau alţi aditivi (vezi capitolul 4, p. 40 şi p. 47).

Pentru a oferi duritate suprafeţei şi rezistenţă la abraziunea umedă, suprafaţa trebuie finisată cu un strat de vopsea.

Când se utilizează tencuieli, trebuie avute în vedere modificările proprietăţilor fizice ale materialelor cauzate de aditivi şi acoperiri, în special în ceea ce priveşte rezistenţa la difuzia vaporilor.

Tencuiala pulverizata

În 1984, autorul acestei cărţi a dezvoltat cu succes o tencuială de lut uşor pulverizat, cu izolare termică ridicată, care conţine ziar mărunţit. Această tencuială poate fi aplicată chiar şi într-un singur strat de până la 30 mm grosime folosind o pompă de mortar obişnuită (11.5). Pentru a scurta perioada de întărire, la amestec s-au adăugat var hidraulic şi gips. Alte tencuieli uşoare pulverizabile utilizate pentru umplerea cadrelor caselor cu cadru din lemn şi structurilor schelet sunt descrise în capitolul 9, p. 81.

Tencuială lut minerală uşoară

Figura 11.6 prezintă suprafaţa unei tencuieli argiloase de 8 mm grosime cu agregate de argilă expandată cu diametrul de 1 până la 4 mm. Pentru a reduce timpul de întărire şi a creşte rezistenţa la difuzia vaporilor, tencuiala a fost stabilizată cu var hidraulic înalt de 5%. Nu este uşor să neteziţi suprafaţa cu o mistrie, deoarece agregatul tinde să iasă în timpul procesului. Pentru a evita acest lucru, în amestec pot fi adăugate hârtie mărunţită, fibre de celuloză sau lipici de cazeină.

Tencuială aruncată

Ilustraţiile 11.7 şi 11.8 arată cum a fost adaptată o tehnică tradiţională africană, constând în aruncarea mingilor de argilă pe un perete. Aici, această tehnică este folosită pe o scândură de lână de lemn pentru peretele unei grădini de iarnă, descrisă în capitolul 14, p. 129. Pentru a creşte aderenţa, dibluri de bambus au fost bătuţi cu ciocanul la jumătatea scândurii.

Case de baloţi de paie tencuite

Casele cu balot de paie, cunoscute încă de la sfârşitul secolului al XIX-lea, când a fost construit primul exemplu în Nebraska, SUA, au găsit o renaştere în anii 1980. Între timp, au fost construite o mulţime de case noi cu pereţi de balot de paie

Australia, Franţa, Scandinavia şi alte ţări europene. Majoritatea zidurilor istorice de acest fel erau portante. În zilele noastre se folosesc în principal structuri de schelete din lemn care sunt umplute sau înconjurate de baloti de paie. Cea mai simplă metodă de acoperire a unor astfel de pereţi este utilizarea tencuielii argiloase. Pentru a crea o legătură şi o rigiditate bună, o sârmă de găină sau o plasă de plastic trebuie fixată pe baloturi înainte de tencuială. Acest lucru se poate face manual sau prin pulverizare cu pistoale. Ilustraţia 11.10 prezintă tencuirea unei suprafeţe de paie cu un pistol de pulverizare, 11.11 textura adunată şi 11.12 suprafaţa interioară a unui dom de balot de paie, cu lămpi integrate în perete. Pentru informaţii suplimentare despre astfel de structuri, vezi Minke şi Mahlke, 2004.

Tencuială formată umedă

Deoarece tencuiala de argilă îşi păstrează starea plastică pentru o lungă perioadă de timp şi nu este corozivă pentru mâini precum tencuielile de var sau de ciment, este un material ideal pentru modelarea cu mâinile. Ilustraţia 11.9 prezintă un exemplu de perete exterior de argilă stabilizat cu un finisaj limecazeină.

Protecţia colţurilor

Deoarece tencuiala lutoasă este susceptibilă la impact mecanic, colţurile ar trebui acoperite de preferinţă cu profile de lemn, cărămizi coapte sau buze similare (11.13).

Perete sculptural de pământ

Pulverizarea tencuielii de pământ pe peretele balotului de paie

Suprafaţă netezită după pulverizare

Dom de baloti de paie tencuit cu lămpi integrate, Forstmehren, Germania

Protecţia colţurilor pereţilor de pământ

11.10

11.11

protecţia suprafeţelor argiloase

Suprafeţele de argilă nu trebuie să aibă întotdeauna aditivi pentru a fi rezistente la intemperii. Adesea este suficient să le protejaţi sau să le întăriţi cu tencuială sau vopsea. Acest capitol descrie diferitele moduri în care suprafeţele de argilă pot fi făcute mai rezistente la forţele mediului şi măsurile structurale necesare pentru a le proteja de aceste forţe.

Consolidarea suprafeţei

Cea mai simplă metodă de întărire a suprafeţei, în special împotriva eroziunii ploii şi eoliene, este consolidarea acesteia. Acest lucru se poate face frecând o mistrie metalică cu presiune mare pe suprafaţă atunci când este umedă şi uşor flexibilă. Metodele tradiţionale indiene şi africane folosesc pietre plate, dar uşoare, convexe, care sunt frecate într-o mişcare circulară pe suprafaţă cu mare forţă. Tratamentul este adecvat dacă suprafaţa pare lucioasă şi nu sunt vizibile pori sau fisuri. Deşi acest lucru lasă compoziţia materialului nealterată, creează totuşi un grad surprinzător de ridicat de rezistenţă la intemperii.

Vopsele

Vopselele de pe suprafeţele de argint expuse trebuie reînnoite periodic. Vopseaua poate fi erodata fizic de vant, inghet sau ploaie, sau erodata chimic de radiatiile ultraviolete sau de ploaia acida. Vopselele exterioare trebuie să fie simultan hidrofuge şi, mai ales pentru climatele reci, poroase, adică să conţină o reţea coerentă de micropori care să permită difuzia vaporilor spre exterior. Prin urmare, vopselele latex şi în dispersie nu sunt recomandate.

Pentru informaţii care completează cele conţinute în acest capitol, vezi Wehle (1985).

Pregătirea terenului

În cazul în care solul este foarte mâl şi se folosesc vopsele pe bază de var, suprafaţa trebuie grunduită cu lapte subţire de var-cazeină şi apoi frecată. Grundul poate fi format din două părţi de var hidraulic, o parte brânză albă fără grăsimi şi 15 părţi apă.

Amestecuri de vopsea recomandate

Spălare cu var pur

Amestecul de spălare cu var trebuie să fie foarte subţire, permiţând vopselei să pătrundă suficient de adânc în pământ, astfel încât să nu apară descuamări în timpul uscării. Prin urmare, sunt recomandate trei sau chiar patru straturi subţiri, primul strat fiind cel mai subţire. Amestecul se poate face din 50 kg var hidraulic dizolvat in 60 litri de apa. Este adesea de preferat să adăugaţi 1 până la 2 kg de sare de bucătărie; fiind higroscopică, sarea permite amestecului să rămână umed mai mult timp, asigurând astfel o mai bună întărire a varului. Spălarea cu var pur este perfect albă când este uscată, dar poate fi atenuată prin adăugarea de pudre de argilă sau argilă sau alţi pigmenţi de pământ rezistenti la var. Spălarea cu var pur nu este rezistentă la ştergere.

12.1 Valorile ^ ale tencuielilor lutoase hidrofuge şi valorile sd ale acoperirilor

Acoperiri

Var, 2 straturi Cretă-clei, 2 straturi Var-cazeină (1: 8), 2 straturi Var-cazeină (1:1), 2 straturi Brânză fără grăsimi, 1 strat Pahar cu sodiu, 1 strat Var-cazeină-ulei de in, 2 straturi Van

Baerle & Co., 2 straturi SILINpina, 2 straturi SILINpina Auro, BIENENWACHS-STREICHBALSAM, 2 straturi Rifa, SILITANIT, 2 straturi Ulei de in, 1 strat Hidrofuge

Wacker, BS 15, 2 straturi Metroark, SYLTRIT, 2 straturi Bayer, BAYSILONE IMPRÂGN.-EMULS.LD, 2 straturi Herbol, FASSADENIMPRÂGN. HIDROFOB, 2 straturi Wacker, STEINFESTIGER H, 2 straturi Indula, HIDROFOBIN, 2 straturi ( ) = Proporţie în volum

Spălare de var-cazeină

Spălaturile de var sunt mult mai rezistente la ştergere şi mai durabile dacă se adaugă zer, brânză albă fără grăsimi (quark) sau pudră de cazeină. Carcul se obţine atunci când în laptele degresat se adaugă cheag de la vacile tinere. Această brânză conţine 11% cazeină. Varul, împreună cu cazeina, formează un agent chimic de impermeabilizare numit albuminat de var. Astăzi, utilizarea brânzei este cea mai bună soluţie pentru spălările de var-cazeină. În spălările tradiţionale de var-cazeină, în locul brânzei se folosea zer sau uneori lapte degresat.

Amestecuri care conţin 1 parte brânză fără grăsimi, 1 până la 3 părţi var hidraulic şi 1,5 până la 2,5 părţi apă s-au dovedit eficiente. Cantităţi mici de ulei de in fiert dublu (nu mai mult de 4% din cantitatea de brânză) măresc rezistenţa la ştergere, dar reduc capacitatea de prelucrare a spălării. Pentru a obţine o emulsie uniformă, trebuie să fie bine amestecată şi amestecată din când în când (uneori la fiecare cinci minute).

O vopsea şi mai puternică şi mai rezistentă la ştergere se obţine prin amestecarea a 1 parte var hidraulic cu 5 părţi brânză fără grăsimi şi 5 părţi lut.

În băi şi bucătării, unde este necesară o rezistenţă mai mare la ştergere uscată şi umedă, se recomandă următoarea procedură: 1 parte var hidraulic şi 5 părţi brânză fără grăsimi se amestecă fără apă timp de aproximativ două minute folosind un mixer electric. Se lasă să stea ceva timp, apoi se adaugă 20 de părţi var hidraulic, 2% până la 4% ulei de in fiert dublu şi apă. Două straturi din această spălare oferă o suprafaţă uscată şi umedă rezistentă la ştergere. Pigmenţii de pământ pot fi înlocuiţi pentru o parte din var.

Spălare cu borax-cazeină

Boraxul poate fi folosit în locul varului hidraulic. Reacţionează chimic cu cazeina într-un mod similar cu varul. Cu un conţinut ridicat de borax, se formează cristale, care pot fi văzute la spălare. Spre deosebire de var, boraxul nu dă o culoare albă şi, prin urmare, este de preferat dacă se doreşte culori închise. Se adaugă pulbere de cretă pentru a face vopseaua mai groasă şi mai deschisă la culoare. Un mic adaos de pudră de argilă îi creşte lucrabilitatea.

Dacă se foloseşte pulbere de cazeină în loc de brânză fără grăsimi, aceasta trebuie lăsată să se umfle sub apă timp de trei ore (320 g pulbere de cazeină în 1 litru de apă). După aceea, 65 g de borax dizolvat în 1 litru de apă fierbinte se amestecă în suspensia de cazeină şi se diluează întregul cu 12 litri de apă.

Acoperire cu cazeină incoloră

Pentru a păstra culoarea naturală a suprafeţei lutoase, îmbunătăţind în acelaşi timp rezistenţa la ştergere, se poate folosi un strat din următorul amestec: 1 parte brânză fără grăsimi cu 1,8 până la 2 părţi apă şi 1/s până la 1/9 parte pudră de var hidraulic. Această acoperire va da o suprafaţă incoloră până la uşor lăptoasă, cu o strălucire uşoară mătăsoasă cauzată de structura sa cristalină fină.

Acoperire de var

Următoarea reţetă din Nepal oferă o acoperire exterioară groasă, pastoasă, rezistentă la intemperii: 15 kg de tei iute pudră împreună cu

Se toarnă 6 kg de seu (seif topită) în 36 de litri de apă. Acest amestec se amestecă cu grijă (trebuie să aveţi grijă deoarece varul reacţionează foarte intens cu apa şi poate stropi şi arde pielea). După adăugarea a 6 kg de sare de bucătărie şi amestecarea cu grijă, acest amestec trebuie lăsat să stea timp de 24 de ore într-un mediu nu prea rece. Stratul de apă care se formează deasupra amestecului este decantat. Amestecul pastos care rămâne este apoi amestecat cu 3 kg de nisip fin de cuarţ şi aplicat cu o pensulă în straturi de 3 până la 5 mm grosime pe perete (Manandhar, 1983). Această acoperire necesită câteva săptămâni pentru a se întări. În Nepal, se spune că durează patru până la şase ani. O reţetă similară a fost folosită cu succes în Australia (Department of Housing, 1981). Testele efectuate cu acest amestec la Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor (BRL) au arătat că se leagă bine cu o tencuială de argilă aspră, slabă. Dar cu o suprafaţă de pământ batut din lut argilos, părţi ale acoperirii s-au desprins pe o perioadă de câteva luni din cauza ploii şi îngheţului, probabil pentru că legătura dintre acoperire şi sol a fost insuficientă.

Alte spălări cu var stabilizat

Mai multe surse de text vechi susţin că, pe lângă amestecarea varului hidraulic în zer, acesta poate fi şi amestecat în urină. Weiss (1963) a descoperit că folosind argila caolinită, rezistenţa poate fi crescută prin adăugarea de uree şi acetat de amoniu. Această practică a fost obişnuită şi în China antică, unde porţelanul extrem de subţire era produs prin adăugarea de urină putrefiantă la amestec.

Potrivit lui Jain et al. (1978), adăugarea a 70 g de lipici animal dizolvat în 0,5 litri de apă clocotită şi amestecată cu 1 kg de var hidraulic s-a dovedit bună.

În Auroville, India, următoarea acoperire a fost folosită cu succes pentru domurile din cărămidă de nămol: albuşurile a 60 de ouă amestecate cu 2 litri de zară şi 5 litri de lichior de

palmier amestecate şi amestecate cu 40 de litri de var de coajă şi 4 litri de ciment (Pingel, 1993).

Potrivit diferitelor surse, următoarele materii vegetale adăugate la var îmbunătățește şi rezistenţa la ştergere şi la intemperii:

clei de făină de secară (15 litri de făină de secară fierte în 220 de litri de apă cu adaos de puţin sulfat de zinc),

suc de agave,

suc de frunze de banane fierte,

suc de cactus Opuntia,

suc de euphorbia lactea,

ulei de capoc

ulei de in crud si fiert dublu.

Vopsea adeziva celulozica

Deoarece este foarte ieftin, lipiciul de celuloză amestecat cu pudră de cretă este adesea folosit pentru vopsirea interioarelor. Cu toate acestea, oferă o rezistenţă redusă la intemperii. Rezistenţa sa la ştergere este, de asemenea, scăzută.

Acoperire cu bitum

Emulsiile bituminoase oferă o bună protecţie împotriva intemperiilor pereţilor exteriori. Următoarea reţetă a fost testată cu succes la Central Building Research Laboratory (CBRI), Roorkee, India: 1 parte de bitum 80/100 este încălzită într-un recipient cu 2 părţi nafta. Acest amestec este apoi aplicat cu o perie pe o suprafaţă de argilă uscată. După ce această acoperire este uscată, se aplică un al doilea strat. Pentru a proteja suprafaţa neagră astfel formată de soare, se recomandă un strat final de var, care este alcătuit din 70 g de lipici animal amestecat în 1 kg de var hidraulic dizolvat în 0,5 litri de apă (Jain et. al., 1978).

Difuzia vaporilor

Acoperirile pot reduce semnificativ difuzia de vapori a pereţilor. Trebuie amintit că în climatele reci, efectul de barieră de vapori al acestor acoperiri ar trebui să fie mai mic la exterior decât la interior.

Proprietăţile de difuzie a vaporilor ale vopselelor disponibile pe piaţă nu sunt menţionate în ambalajul acestora, aşa că experienţa este importantă în aprecierea caracteristicilor acestora. Rezultatele testelor efectuate de BRL realizate cu mai multe vopsele, acoperiri, tencuieli hidrofuge şi hidrofuge sunt prezentate în 12.1.

Pătrunderea apei

Aportul capilar de apă (vezi capitolul 2, p. 27) al suprafeţelor de argilă este influenţat semnificativ.

afectate de acoperirile lor. Tabelul 12.2 prezintă câţiva coeficienţi de aport capilar de apă (valori w) ai tencuielii lutoase cu şi fără o varietate de tratamente:

Faceţi suprafeţele hidrofuge

Hidrofuge

Mai multe lichide incolore pot fi folosite pentru a impregna suprafeţele argiloase, făcându-le hidrofuge. O anumită suprafaţă impregnată este considerată hidrofugă dacă unghiul de contact de umezire realizat de o picătură de apă este mai mare de 90° (12.3). Agentul de respingere a apei pătrunde în porii argilosului fără a-i închide, astfel încât, în timp ce aportul capilar de apă este redus semnificativ, difuzia vaporilor nu este. De regulă, aceste substanţe sunt dizolvate în alcooli organici, hidrocarburi sau apă.

Se pot distinge următoarele grupe de repellente:

silan si siloxani

polisiloxani (răşini siliconice)

siliconate

răşini acrilice

ester silicat cu aditivi hidrofobici

silicati cu aditivi hidrofobici. Silanul, siloxanii şi răşinile siliconice reacţionează chimic cu substanţele minerale din argilă şi sunt foarte rezistente la intemperii; reduc aportul de apă cu peste 90%. Difuzia vaporilor este redusă doar cu 5% până la 8%.

Esterul silicat şi răşinile acrilice prezintă efecte similare promiţătoare de respingere a apei, dar reduc difuzia vaporilor cu 15% până la 30%. Deoarece hidrofugele găsite pe piaţă au compoziţii diferite şi efecte variate, aceştia trebuie testaţi înainte de utilizare. Coeficientul de absorbţie a apei w al diferitelor tencuieli lutoase care au fost inundate de două ori cu diferite substanţe hidrofuge se situează între 0,0 şi 0,2 kg/m2h0,5 (vezi 12.2).

Aplicarea de hidrofuge

Prin aşa-numita tehnică de „inundare”, hidrofugele se aplică de cel puţin două ori, cu soluţia aplicată cu role, astfel încât lichidul să curgă şi să curgă pe măsură ce rola este trasă în jos peste suprafaţă. A doua inundaţie trebuie făcută înainte ca prima să se usuce. Suprafaţa lutoasă trebuie să fie uscată şi nici mai rece de 8°C, nici mai caldă de 25°C înainte de a fi tratată. Doar silanii şi siloxanii necesită ca solul să fie oarecum umed. În mod normal, această aplicare trebuie repetată la fiecare câţiva ani din cauza efectului de deteriorare al vremii asupra acestor substanţe repellente.

Testare

O metodă simplă de verificare a cantităţii de repulsie a apei, utilizată de BRL, este prezentată în 12.4. Aici, probele de testare tratate sunt rotite cu o viteză de 75 de rotaţii/min pe o bază şi trecute sub un duş în care apă la 36°C este pulverizată cu o viteză de 12 litri pe minut printr-un duş manual obişnuit. Un alt aparat mai sofisticat a fost descris în capitolul 2, p. 26.

Tencuieli de var

Tencuielile de argilă utilizate pe pereţii exteriori (descrise în capitolul 11) sunt potrivite numai dacă sunt fără fisuri şi rezistente la apă. De regulă, suprafeţele expuse nu trebuie să aibă tencuieli de argilă, cea mai comună alternativă fiind tencuiala de var. Tencuielile de ciment nu sunt potrivite, deoarece sunt prea casante. Ele nu pot rezista forţelor termice şi hidrice puternice fără crăpare, permiţând apei să pătrundă în argilă pentru a provoca umflături, ceea ce

la rândul său, măreşte crăpăturile şi chiar provoacă desprinderea tencuielii.

În timpul reparaţiilor întreprinse în 1992, s-a constatat că cea mai veche casă germană de pământ batut, construită în 1795 (1.10), s-a dovedit a avea o eroziune masivă de îngheţ, care a distrus argila până la o adâncime de 20 cm, deoarece apa pătrunsese prin tencuiala de ciment aplicată cu câteva decenii înainte. Un fenomen similar a fost raportat din New Mexico, SUA de către Bourgeois (1991). În timpul unei restaurări efectuate în 1967, biserica din Ranchos de Taos (12,5), construită din chirpici în 1815, a fost acoperită cu tencuială de ciment. Unsprezece ani mai târziu, tencuiala de ciment a trebuit să fie demontată când argila de dedesubt a arătat daune mari de umezeală.

În climatele reci, este necesară uscarea rapidă a peretelui dacă ploaia pătrunde din exterior sau dacă apare condensarea vaporilor din interior. Prin urmare, rezistenţa la difuzia vaporilor a stratului exterior ar trebui să fie mai mică decât cea a interiorului.

Standardul german DIN 18550 (Partea 3) prevede ca tencuielile exterioare hidrofuge trebuie sa indeplinească urmatoarele conditii: coeficient de absorbtie a apei w < 0,5 kg/m2 • ha5, rezistenta specifica la difuzia vaporilor sd trebuie sa fie < 2,0 m iar produsul w • sd < 0,2 kg/m • ha5.

Următoarele secţiuni descriu compoziţia şi aplicarea tencuielilor care nu conţin lut.

Pregătirea terenului

Pentru a asigura o aderenţă bună, suprafeţele de argilă care urmează să fie tencuite trebuie să fie uscate şi aspre. Suprafeţele netede trebuie stropite cu apă, astfel încât straturile lor exterioare să se umezească şi să se umfle, după care pot fi canelate în diagonală cu 2 până la 3 mm adâncime, aşa cum se arată în 11.2. În timp ce suprafaţa astfel pregătită este încă

umedă, trebuie amorsată cu lapte de var subțire, care ar trebui să pătrundă în pământ până la o adâncime de câțiva milimetri. Un amestec de 0,5 până la 1 parte de brânză albă fără grăsimi, 2 părți var hidraulic și 30 părți apă s-a dovedit, de asemenea, de succes. Dacă tencuiala de var este expusă la forțe termice severe, dacă suprafața neîntreruptă a suprafeței tencuielii este foarte mare sau dacă lipirea este slabă, pot fi necesare plase metalice expandate sau covorașe de stuf fixate pe pământ pentru a lua tencuiala. Când folosiți covorașe de stuf, este indicat să le scufundați în lapte de var pentru a preveni putrezirea.

Armare

Panourile mai mari nerupte supuse unor forțe termice puternice pot necesita armare. În acest scop, se utilizează în mod obișnuit o plasă din oțel galvanizat cu ochiuri hexagonale (plasă de sârmă de iepure sau de găină) sau plase similare. Muncitorii preferă adesea să folosească plase din fibră de sticlă acoperite cu plastic, deoarece nu se corodează și sunt mai flexibile.

Compoziție

Tencuiala normală de var constă de obicei din

1 parte var hidraulic și 3 până la 4 părți nisip. Deoarece este folosit în mod obișnuit în construcții în întreaga lume, nu este discutat în continuare în această carte. Cu toate acestea, tencuielile de var-cazeină sunt mai puțin frecvente și, prin urmare, sunt descrise mai jos.

Rețetele vechi prescriu adesea ca părul de animale și cazeina să fie adăugate unui tencuială normală pentru a-i îmbunătăți comportamentul. Pe vremuri, cazeina era adăugată sub formă de zer sau lapte de unt. Cazeina și varul reacționează chimic pentru a forma albuminat de calciu, un compus rezistent la spălare. Adaosul de cazeină reduce absorbția de apă a tencuielii de var, dar în același timp împiedică difuzia vaporilor.

La BRL a fost testat cu succes o tencuială var-cazeină pentru lucrări exterioare. Amestecul a constat din brânză fără grăsimi, var hidraulic și nisip într-un raport de 1:10:40. Varul trebuie mai întâi amestecat intens în brânză pentru a forma o pastă cremoasă fără a adăuga apă. După ce a lăsat amestecul să se odihnească pentru un timp, trebuie adăugate apă și nisip. Pentru o tencuială mai subțire care poate fi periată, un amestec ușor diferit ar putea fi adecvat, cu proporția de 1:6:25 din aceleași ingrediente. În climă caldă, trebuie adăugată puțină sare de bucătărie pentru a menține tencuiala de var umedă pentru o perioadă mai lungă, ceea ce îmbunătățește întărirea.

12.6

12.8

C D

Aplicaţie

Înainte de aplicarea tencuielii, suprafaţa lutoasă trebuie umezită şi amorsată cu lapte de var-cazeină. Tencuiala se aplica apoi in doua straturi, aducand grosimea totala pana la maxim 20 mm. În primul strat, se poate adăuga nişte ciment pentru o întărire mai rapidă. Al doilea strat trebuie aplicat în timp ce primul este încă uşor umed. Când apar fisuri de contracţie, acestea trebuie umezite cu o perie înmuiată în lapte de var şi apoi închise prin frecare cu o mistrie. Trebuie remarcat faptul că tencuielile de var se întăresc atunci când sunt în contact cu dioxidul de carbon din aer, iar acest proces este posibil numai în prezenţa unei umidităţi suficiente. Prin urmare, pereţii ar trebui să fie protejaţi de soare şi vânt direct sau ţinuţi umezi cu o ţesătură umedă.

Tencuielile interioare pot fi aplicate într-un singur strat. Tencuiala din gips sau tencuiala gips-var, cu sau fara cazeina, poate fi folosita si in lucrari interioare. Tencuielile de ciment, însă, nu trebuie folosite nici măcar pentru lucrări interioare.

Efect asupra difuziei vaporilor

Efectul adăugării de ulei de in şi cazeină dublu fiert asupra reducerii difuziei de vapori a tencuielilor de var a fost testat la BRL. Valorile coeficientului de rezistenţă la difuzia vaporilor p obţinute sunt enumerate în tabelul 12.6.

Sindrila, scânduri şi alte huse

Pe lângă tencuieli şi acoperiri, şindrila, scânduri, panouri de acoperire mai mari sau pereţi de cărămidă coptă despărţiţi de o cavitate de aer pot fi folosite pentru a proteja pereţii de argilă. Aceste metode sunt deosebit de utile dacă se aplică o izolaţie termică suplimentară din exterior.

O metodă comună este prezentată în 12.7. În Mesopotamia (Irak), straturi de cărămizi smălţuite au adăpostit ziduri de chirpici de mii de ani. Este întotdeauna recomandabil să separaţi astfel de straturi de acoperire de perete cu o cavitate de aer, astfel încât ploaia care pătrunde să se scurgă şi să nu dăuneze peretelui.

Metode structurale

Protecţie împotriva ploii

O metodă de a preveni ploaia să intre în contact cu un perete de argilă este să îi asiguraţi o surplosă pentru acoperiş. O plintă suficient de înaltă (30 până la 50 cm) poate proteja de stropirea ploii. Îmbinarea peretelui cu soclu trebuie proiectată cu atenţie, astfel încât apa de ploaie să poată curge în jos nestingherită, fără a intra în îmbinarea dintre perete şi soclu. În 12.8, soluţia A este inacceptabilă. Soluţiile B şi C pot fi acceptabile în zonele cu ploi puţine. Soluţia D este comună, în timp ce E şi F prezintă modele perfecte pentru combaterea acestei probleme.

Protecţie împotriva umidităţii în creştere

Pereţii exteriori de lut trebuie să fie protejaţi de umiditatea în creştere, în acelaşi mod ca pereţii din cărămidă coptă sau din zidărie din piatră. Se foloseşte un strat rezistent la umezeală, de obicei pâslă bituminoasă, iar uneori se utilizează foi de plastic sau metalice. Deoarece aceste mijloace sunt destul de scumpe în lumea în curs de dezvoltare, un strat de ciment bogat de 3 până la 4 cm grosime este adesea folosit ca alternativă. Acesta ar trebui să fie impregnat cu bitum sau ulei mobil rezidual.

Protecţie împotriva inundaţiilor

În bucătării şi băi, plinta trebuie să aibă o plinta impermeabilă din gresie, ardezie, tencuială bogată din ciment etc. Designul plintei trebuie să împiedice scurgerea apei sau ţevile sparte, care ar putea inunda podelele, să ajungă la peretele de argilă.

Repararea componentelor argiloase

Repararea secţiunilor deteriorate de lut, în special a fisurilor şi rosturilor mai mari, necesită măsuri speciale diferite de cele utilizate pentru zidăria convenţională sau tencuielile de var. Acest capitol descrie problemele de reparaţii specifice argintului şi metodele de izolare termică modernizate folosind argint uşor.

Apariţia deteriorării componentelor lut

Deteriorarea componentelor de argilă poate apărea din cauza contracţiei prin contracţie şi dilatare termică, prin impactul apei sau prin impact mecanic şi abraziune.

Dacă o tencuială se contractă la uscare sau nu se leagă suficient de suprafaţa solului, se poate separa de aceasta. Astfel de zone slabe pot fi localizate cu uşurinţă lovind tencuiala cu degetele. Dacă o cantitate mare de apă se condensează în perete şi nu poate fi îndepărtată suficient de repede, argilul se poate umfla şi poate provoca prăbuşirea şi căderea tencuielii. Astfel de daune pot apărea şi atunci când apa se scurge din exterior prin crăpături sau găuri.

Îngheţul poate provoca, de asemenea, o deteriorare similară dacă peretele este umed şi apa îngheţată se extinde.

Repararea fisurilor şi îmbinărilor cu materiale de umplutură de argilă

Rosturile şi fisurile din componentele de lut uscat nu pot fi reparate cu lut plastic, deoarece acesta nu se leagă de suprafaţa de lut uscat. La uscare, umplutura se va separa şi poate cădea. Prin urmare, este important să pretratăm îmbinarea şi să folosiţi un amestec care are cât mai puţină contracţie.

Amestecuri

La proiectarea compoziţiei umpluturii de lut pentru fisuri şi îmbinări, trebuie luate în considerare următoarele:

Umplutura trebuie să aibă suficientă forţă de legare pentru a se lipi de suprafeţele umede ale fisurii sau îmbinării.

Amestecul trebuie să conţină suficient nisip grosier sau alte particule grosiere pentru a minimiza contracţia. Din acelaşi motiv, pot fi adăugate fibre sau păr.

• Pentru a reduce timpul de întărire se poate adăuga gips, var sau ciment. Deoarece aceşti aditivi fac amestecul mai slab, contracţia este redusă. Dezavantajele la adăugarea acestor substanţe ar putea fi că forţa de legare şi rezistenţa la compresiune sunt reduse. Rosturile şi fisurile din elementele interioare pot fi umplute cu un amestec de 1 parte lut, 0,5 până la 1 parte var hidraulic şi 0,5 până la 1 parte gips.

În cazul în care rosturile sunt expuse la intemperii, nu trebuie folosit gips, dar cimentul, var hidraulic ridicat sau un amestec al acestora în total de la 8% la 20% poate fi folosit ca aditiv. În loc de aceşti lianţi, se mai poate adăuga 4% până la 7% ulei de in fiert dublu. Acest material de umplutură rămâne plastic timp de câteva săptămâni.

Aplicarea de umplutură

Pentru a obține o legătură bună între suprafața de lut veche și materialul de umplutură, crăpăturile ar trebui să fie deschise până la 1 cm cu particulele libere îndepărtate și marginile îmbinărilor suficient de umede, astfel încât lutul să se umfle și să ajungă plastic la suprafață. Când se folosește lut uleios dublu fiert ca umplutură pentru reparații, suprafața trebuie tratată cu ulei de in.

Umplutura din plastic se aplică mai întâi cu un cuțit pe ambele părți ale îmbinării, iar deschiderea se umple apoi cu un amestec mai uscat din același material de umplutură, tamponat sau bătut în îmbinare (vezi 8.29). Este recomandabil ca îmbinarea să fie umplută cu mai mult material decât este necesar, astfel încât, după ce umplutura se micșorează la uscare, să poată fi compactată din nou când este încă puțin umed.

Repararea fisurilor și îmbinărilor cu alte materiale de umplutură

Repararea fisurilor și îmbinărilor cu un material de umplutură de lut necesită foarte mult timp și necesită ceva experiență. Cu toate acestea, alte materiale de umplutură care prezintă o contracție mai mică și calități de lipire mai bune și necesită mai puțină muncă și îndemânare sunt descrise în acest capitol.

Amestecuri

Ca alternativă la materiale de umplutură de argilă, toate materialele care pot fi utilizate în mod obișnuit pentru tencuieli pot fi folosite ca umpluturi. Ca lianți pot fi folosite var hidraulic, ciment, ghips, cazeină, celuloză și ulei de in dublu fiert. Mâlul, nisipul și pietrișul, precum și agregatele organice precum pluta, rumegușul, cerealele și coji de orez și ziarul mărunțit pot fi folosite ca umpluturi. La repararea rosturilor exterioare, materia organică nu trebuie utilizată decât atunci când amestecul are o valoare ridicată a pH-ului (care împiedică creșterea microorganismelor). Amestecuri sintetice elastice acrilice sau siliconice pot fi, de asemenea, folosite ca umpluturi. Siliconul se leagă de argint, cu condiția ca suprafața îmbinării să fie uscată și fără particule libere înainte de aplicare.

Repararea unor zone mai mari de deteriorare

Reparare cu lut

Zonele mai mari erodate sau fulgi ar trebui reparate prin răzuirea întregului lut liber și apoi umezirea suprafeței înainte de aplicarea unui lut nou, așa cum este descris în capitolul 11 despre tencuielile de argilă.

Pentru a reduce contracția, fiecare strat de tencuială argilosă nu trebuie să fie mai gros decât

la 1,5 cm. Dacă prejudiciul este mai mare decât

cm adâncime, este indicat să răzuiţi zona la o adâncime de 4 până la 6 cm. Acesta este apoi umplut cu chirpici spart şi mortar slab. În zonele predispuse la îngheţ, cărămizile verzi nu sunt recomandabile, deoarece nu sunt rezistente la îngheţ.

Acoperiri

Dacă învelişul unei suprafeţe lutoase urmează să fie reparat, vechea acoperire trebuie mai întâi răzuită. Zona este apoi amorsată înainte de aplicarea noului strat. Pentru aceasta se poate folosi lapte de limecazeină, aşa cum este descris în capitolul 12, p. 99.

Dacă suprafaţa este foarte nisipoasă şi moale, este mai bine un grund de lipici var-cazeină. Acesta este preparat din 1 parte de var hidraulic şi 5 părţi de brânză fără grăsimi amestecate intens timp de două minute fără adăugare de apă. Amestecul este lăsat să stea puţin

şi apoi diluat cu apă în proporţie de 1:5. Acest adeziv trebuie folosit în decurs de o oră (Letzner şi Stein, 1987, p. 145).

Refacerea izolaţiei termice cu argint uşor

Această secţiune descrie aspectele generale fizice şi structurale care trebuie luate în considerare la îmbunătăţirea izolaţiei termice a pereţilor exteriori existenţi prin utilizarea lutului uşor. Diferite tipuri de agregate adecvate sunt descrise în capitolul 4, p. 47. Folosirea lutului uşor ca umplutură pentru casele cu rame din lemn este menţionată în capitolul 9, p. 82, iar modelele de pereţi de pământ foarte izolant sunt discutate în capitolul 14, p. 106.

Condensare

Sfârşitul secolului al XX-lea a văzut daune considerabile la casele istorice din lemn din Germania. Cea mai mare parte a avut loc din cauza condensului în pereţi, un tip de avarie care nu a avut loc mai devreme.

În zilele noastre se produce mult mai multă umiditate în bucătării şi băi decât în vremurile anterioare. În timp ce astăzi un duş cald zilnic este obişnuit, mai devreme, oamenii obişnuiau să se spele cu apă rece într-un lighean. În plus, hainele au fost spălate în afara casei într-o anexe sau zonă deschisă şi uscate în aer liber. Astăzi, hainele sunt de obicei spălate şi uscate în casă. Toţi factorii de mai sus contribuie la producerea de umiditate mult mai mare în casa din lemn astăzi. De asemenea, temperaturile interioare sunt mult mai ridicate în zilele noastre în comparaţie cu vremurile anterioare. Prin urmare, deşi umiditatea relativă a aerului din interior poate fi aproximativ aceeaşi, umiditatea absolută este semnificativ mai mare. În plus, uşile şi ferestrele din casele din lemn astăzi sunt mult mai bine etanşate. Prin urmare, rata de schimb a aerului este mult redusă.

Toţi aceşti factori duc la o condens mult mai mare în interiorul pereţilor. Prin urmare, este imperativ ca caracteristicile de difuzie a vaporilor ale pereţilor să fie controlate cu atenţie.

Izolatie termica

Pereţii exteriori ai caselor tipice din lemn au grosimi de 14 până la 20 cm. Umplerea cadrului de lemn este alcătuită din cărămizi coapte, chirpici sau tălpi. Valoarea U a acestor umpluturi este între 2,0 şi 2,7 W/m2K. Luând în considerare cadrele din lemn, aceasta oferă o valoare U globală de 1,2 până la 2,2 W/m2K. Transmiterea căldurii prin aceşti pereţi este astfel de trei până la şase ori mai mare decât ar trebui să fie conform standardelor moderne în climatul moderat şi rece. Cea mai simplă soluţie, şi cea mai bună din punct de vedere fizic, este creşterea izolaţiei termice din exterior, adică învelirea clădirii în termoizolaţie. Dacă casa este un reper istoric şi, prin urmare, nu este permisă acoperirea cu izolaţie termică din exterior, izolaţia termică suplimentară trebuie aplicată din interior. Acest lucru cauzează de obicei probleme deoarece, în practică, punţile de căldură şi punţile de vapori nu pot fi evitate în totalitate. Acestea pot duce la umezirea parţială a peretelui din cauza unui grad ridicat de condens şi, ulterior, la deteriorarea suprafeţei peretelui. În plus, creşte pierderea de căldură şi poate duce la creşterea ciupercilor.

Straturi de lut uşor

O metodă posibilă de aplicare a izolaţiei termice interioare suplimentare este prezentată în 13.2. Aici se fixează un cofraj de distanţiere montate pe peretele istoric şi se toarnă sau se pompează un strat de lut mineral uşor. Este important să nu se formeze spaţiu între cele două frunze, astfel încât transportul apei capilare şi vaporilor să nu fie împiedicat.

În proiectul prezentat în 13.1, cinci persoane au avut nevoie de opt ore pentru a finaliza 60 m2 din acest perete, utilizând metoda de pompare descrisă în capitolul 10, pentru a aplica un strat de lut uşor de 15 până la 25 cm grosime. Ilustraţia 13.3 arată suprafaţa finisată a acestui perete după îndepărtarea cofrajului. Materialul are o densitate de aproximativ 1000 kg/m3. Această densitate relativ mare a fost aleasă pentru a obţine o izolare fonică suficientă, stocare a căldurii şi efecte de echilibrare a umidităţii.

13.3

Aceeaşi metodă poate fi folosită pentru a construi izolaţia termică exterioară, dar aici se recomandă un amestec de argilă cu densitate mai mică.

Elemente prefabricate

O metodă şi mai simplă de construire a unui strat de termoizolaţie interioară este utilizarea elementelor de lut prefabricat, cum ar fi blocuri sau panouri mai mari, aşa cum este descris în capitolul 7, sau utilizarea furtunurilor uşoare umplute cu lut, aşa cum este descris în capitolul 10. Acestea pot fi aşezate fără cofraj în stare plastică pe perete în unul sau două straturi, aşa cum se arată în 134. În acest caz este de preferat să le aplatizaţi şi să le fixaţi pe peretele existent cu cârlige din sârmă de oţel (4 cârlige pe m2).

13.4

Suprafaţa unui perete de lut mineral uşor cu o densitate de 1.000 kg/m3 după îndepărtarea cofrajului

Izolaţie termică interioară suplimentară folosind furtunuri umplute cu argilă uşor

Proiectări ale anumitor elemente de construcţie

Articulaţii

Atunci când elementele de lut sunt îmbinate cu stâlpi, grinzi, ferestre sau tocuri de uşi, trebuie avute în vedere următoarele consideraţii:

Cu tehnicile de lut umed apare un gol la îmbinare din cauza contracţiei lutului.

Chiar şi atunci când lutul este uscat sau când se folosesc elemente de lut uscat, pot apărea goluri din cauza contracţiei lemnului în timpul uscării sale, proces care poate dura până la doi ani (până când cheresteaua îşi atinge conţinutul de umiditate echilibrat).

• Structurile din lemn continuă să se umfle şi să se micşoreze uşor în timpul utilizării datorită adsorbţiei şi desorbţiei umidităţii.

Ilustraţia 14.1 prezintă câteva modele posibile de îmbinări ale furtunurilor umplute cu lut, chirpici şi lut uşor, cu stâlpi din cherestea sau zidărie, sau cu rame de uşi şi ferestre din lemn.

14.1 Proiecte posibile de îmbinări ale furtunurilor umplute cu lut, chirpici şi lut uşor, cu stâlpi din lemn sau cărămidă, sau cu rame de uşi şi ferestre din lemn. (secţiuni orizontale)

Căpriorii de acoperiş nu trebuie să se sprijine direct pe peretele de pământ, ci în schimb pe plăci de perete sau grinzi din lemn, aşa cum se vede la 14.2 A. Dacă căpriorii se sprijină pe o structură de stâlp şi grinzi din lemn şi peretele nu este portant, trebuie luată în considerare contracţia structurii din lemn.

În 14.2 B, a fost introdus un material de etanşare elastic între grindă şi perete pentru a asigura o toleranţă suficientă pentru această contracţie; în timp ce la 14,2 C, sistemul structural este separat de perete, permiţând astfel o mişcare verticală mai mare a structurii din lemn.

Modele speciale de pereţi

Pereţi de lut cu izolare termică ridicată

Valoarea U a unui perete de pământ batut de 30 cm grosime (fără agregate uşoare) este de aproximativ 1,3 W/m2K. Pentru a obţine o valoare U de 0,3 W/m2K cu acest perete, ar trebui să aibă o grosime de 1,65 m. Acest lucru arată că în climatele reci în care este necesară o izolare termică ridicată, nu este posibil să se construiască numai cu argilă normală.

Exemplele furnizate în 14.3 nu numai că arată suficientă izolaţie termică cu o valoare U de 0,3 W/m2K, dar sunt, de asemenea, concepute pentru a avea o masă termică suficientă pentru echilibrare.

Secţiuni verticale ale structurii acoperişului şi pereţilor portanti şi neportanţi

Secţiuni orizontale ale diferiţilor pereţi de argilă cu valori U de 0,3 W/m2K

Perete de anvelope de maşini umplute cu pământ, SUA

Dom de furtunuri umplute cu pământ, Kassel, Germania

Clădire prototip, Kassel, Germania

Tencuiala de var

Plută (X= 0,5) Insulă termică. (X= 0,04) Loam mineral uşor (X= 0,21)

Tencuiala de var

Loam mineral uşor (X= 0,18) Schelet de lemn

Tencuială lutoasă uşoară

14.5

14.6

temperatură a aerului din interior, argint suficient pentru echilibrarea umidităţii aerului din interior şi, de asemenea, suficientă izolare fonică. Modelele E şi F sunt pentru pereţi portanti, în timp ce celelalte nu sunt. Panourile termoizolante exterioare, prezentate în G şi

H, pot fi folosite ca cofraj pierdut pentru turnarea argintului uşor, acţionând în acelaşi timp şi ca bază pentru tencuiala exterioară de var. Cele mai simple şi mai performante soluţii sunt J şi K, care sunt formate cu pereţi monolitici de lut uşor de densitate scăzută.

În climatele predispuse la ploi puternice, modelele de la A la F sunt de preferat, deoarece au frunze exterioare separate, care acţionează ca protecţie împotriva intemperiilor.

Pereţii anvelopelor umpluţi cu pământ

O posibilă metodă de utilizare a blocurilor goale umplute cu lut uşor pentru pereţi a fost descrisă în capitolul 10, p. 89. Dacă cerinţele de izolare nu sunt foarte mari, aceşti pereţi pot fi umpluţi cu sol argilos simplu.

14.4

Michael E. Reynolds a construit mai multe reşedinţe în New Mexico, SUA, având pereţi formaţi din anvelope de maşini umplute cu pământ săpat din fundaţie. Doar anvelopa de sus a fost umplută cu beton de care a fost fixată o ancoră inelă din lemn. Suprafata interioara a fost acoperita cu armatura din plasa metalica expandata si apoi tencuita.

Saci plini de pământ

Laboratorul de cercetare în construcţii (BRL), Universitatea din Kassel, Germania, a testat mai multe abordări pentru construirea de pereţi din saci sau furtunuri umplute cu pământ sau nisip. Figura 14.5 prezintă o cupolă construită în 1977 din nisip şi furtunuri umplute cu pământ din ţesătură de poliester; 14.6 prezintă peretele unui prototip de carcasă low-cost construit în Kassel în 1978. În acest din urmă caz, furtunurile au fost fabricate din ţesătură de iută acoperite cu mai multe straturi de spălare cu var pentru a preveni putrezirea.

Arhitectul californian Nader Khalili a dezvoltat în continuare această idee folosind furtunuri nesfârşite, de obicei folosite pentru a face pungi pentru zahăr sau făină. Ilustraţiile 14.7 şi 14.8 prezintă procesul de umplere şi batere; 14.9 afişează un exemplu construit în Brazilia.

Podele intermediare

Podele tradiţionale din lut

În casele germane tradiţionale din lemn, podelele intermediare erau umplute cu lut pentru a creşte rezistenţa la foc, izolarea fonică şi, uneori, şi izolarea termică. Tehnicile tradiţionale descrise aici necesită foarte multă muncă şi, prin urmare, sunt utilizate în prezent în lucrările de renovare numai dacă sunt impuse de codurile de conservare a reperelor istorice.

14.7

Punţi de pământ batut

Ilustraţia 14.10 prezintă trei moduri diferite de utilizare a pământului batut ca umplutură între sau deasupra grinzilor de lemn. Tavanul este format din scânduri de lemn expuse, deasupra cărora este compactat pământul umed. Un strat de paie este aşezat pe scânduri pentru a preveni căderea lutului prin goluri. În prezent, hârtia de ulei este folosită în acelaşi scop.

Punţi „Spalier".

Ilustraţia 14.11 prezintă podeaua tradiţională din spalier germană, unde strungurile de lemn sunt aşezate la o distanţă de 3 până la 6 cm între grinzile podelei. Lotul de paie este presat de sus astfel încât să formeze „limbi" între strunguri. Ulterior, limbile sunt presate pentru a acoperi strungurile de dedesubt cu o mistrie, astfel încât să formeze o suprafaţă uniformă, aşa cum se arată în figură. O variantă a acestui planşeu a fost, de asemenea, folosită în mod tradiţional, unde, în loc de a folosi mistria, a fost folosit un cofraj care se mişcă orizontal.

Rulouri de lut de paie

O altă tehnică tradiţională germană foloseşte rulouri de lut de paie (germană: Wickel) realizate în acelaşi mod ca cel descris în capitolul 9, p. 81. Un mănunchi de paie este scufundat în şlam de lut şi înfăşurat elicoidal în jurul unui băţ, formând rulouri de lut de paie. Beţişoarele din aceste role fie se sprijină pe partea superioară a grinzii, fie sunt introduse în fante de pe părţile laterale ale grinzilor (14.12).

Pardoseli lut modern

Astăzi, în loc de umplutură de pământ pentru grinzile din lemn şi podelele din scândură, pot fi folosite cărămizi verzi sau chirpici fără mortar, ceea ce elimină timpul de uscare. Ilustraţia 14.13 A prezintă un design favorabil al unei astfel de podele, care asigură o izolare suficientă împotriva zgomotului aeropurtat şi structural. Designul prezentat în 14.13 B are aceleaşi proprietăţi, dar oferă, de asemenea, avantajul unei înălţimi structurale mai mici şi dezavantajul de a necesita mai multă muncă.

Ilustraţia 14.14 prezintă diferite modele pentru podele de lut boltit. Proiectele A, B şi C folosesc blocuri de pământ, care transferă sarcinile plăcii către grinzi prin acţiunea bolţii sub compresie. Designul D prezintă o boltă de lut neportant realizată prin turnarea de lut uşor peste un covor de stuf curbat.

Podele din pământ batut

Suprafeţele rezistente la uzură trebuie să îndeplinească standarde foarte înalte. Acestea trebuie să reziste la abraziunea sub presiune, să fie impermeabile şi să nu prezinte fisuri. Este foarte dificil să construiţi astfel de suprafeţe din lut, dar dacă este făcut cu grijă, nu este

imposibil. Cel mai dificil criteriu este obţinerea unei rezistenţe suficiente împotriva abraziunii sau durităţii suprafeţei (vezi capitolul 2, p. 34). Este adesea mai uşor să evitaţi efortul implicat în realizarea acestui lucru prin folosirea plăcilor de cărămidă, cherestea sau piatră peste lut sau acoperind lut cu un covor, covor, ţesătură etc.

Pardoseli tradiţionale din pământ

Ilustraţia 14.15 prezintă versiunea lui Niemeyer a unei podele tradiţionale de lut (Niemeyer, 1946). Stratul de bază este format din lut, de aproximativ 15 cm grosime, cu conţinut ridicat de argilă. Acesta acţionează ca o barieră de apă şi se aplică în două straturi care sunt compactate prin lovire sau batere până când nu apar fisuri în timpul uscării. Următorul strat este format din pietriş grosier, care întrerupe acţiunea capilară. Deasupra acestuia, un strat de lut de paie de 10 cm grosime asigură izolarea termică. Se adaugă un strat suplimentar de 4 cm grosime de lut de paie, stabilizat cu ciment în proporţie de 1:6 (1 parte ciment: 6 părţi lut pai), astfel încât să poată fi transportate sarcini grele. Ca strat final, Niemeyer recomandă un strat de mortar de ciment cu grosimea de 2 cm cu rumeguş. Două straturi de sticlă de apă sunt apoi aplicate în timp ce stratul final este încă umed. În cele din urmă, după ce este complet uscat, suprafaţa este cerată.

Autorul acestui studiu sugerează inversarea secvenţei celor două straturi inferioare. Pentru a întrerupe acţiunea capilară, pietrişul grosier trebuie folosit ca strat inferior. Argila cu un conţinut ridicat de argilă ar trebui să formeze următorul strat, acţionând ca o barieră de apă şi vapori (grosier rezistent la umezeală). După cum este descris mai jos în acest capitol, mortarul de lut stabilizat poate fi înlocuit cu mortarul de ciment. În fermele şi hambarele tradiţionale germane, podelele din pământ erau construite într-un mod similar, astfel încât chiar şi maşinile (fără cauciucuri pneumatice) puteau trece peste ele. În locul suprafeţei de tencuială de ciment s-a folosit tencuială lutoasă care conţinea lut cu un conţinut ridicat de argilă şi cantităţi mari de nisip grosier şi pietriş fin. Acesta a fost aplicat într-un strat de 7 cm grosime şi compactat prin batere. Pentru a întări suprafaţa, acesta a fost stropit cu fulgi de Fe3O4 (fulgi produşi prin forjarea fierului strălucitor) şi bătuţi în suprafaţă împreună cu sânge de vacă, fiere de vacă sau gudron.

Pardoseli moderne din pământ

În 1984, cele două pardoseli de argilă diferite prezentate în 14.16 au fost testate cu succes la BRL. Designul A are o suprafaţă, suficient de dură pentru a fi păşită, care este împărţită printr-o grilă de lemn, în timp ce designul B prezintă o podea de lut pavată cu blocuri de lemn.

Pardoseala este identică în ambele cazuri, constând dintr-un strat capilar de rupere de pietriş cu grosimea de 15 cm, urmat de o barieră de apă şi vapori din plastic sau hârtie de pâslă bituminoasă, şi acoperit cu un strat de argilă expandată de 10 cm grosime care acţionează ca izolator termic.

Primul strat de lut argilos umed este aşezat deasupra acestui pardoseală şi se bate (14.17 şi 14.18). În ambele cazuri, peste aceasta este aşezată o grilă primară de şipci de lemn (10x10 cm).

În proiectarea B (14.16), această grilă este apoi umplută cu blocuri de lemn aşezate cu un mortar de argilă stabilizat cu 6% până la 8% (în volum) ulei de in dublu fiert. Blocurile sunt aşezate astfel încât inelele inelare să fie expuse (14.20).

În designul A, se aplică şi se bat un al doilea strat de mortar de argilă, peste care este aşezată o grilă secundară de fâşii de cherestea. The

spaţiile astfel create sunt apoi umplute cu un al treilea strat de mortar de argilă stabilizat cu 6% până la 8% (în volum) ulei de in dublu fiert. Suprafaţa este apoi netezită prin frecare cu presiune mare cu ajutorul unei mistrie de metal (14.19) până când suprafaţa devine lucioasă.

Deoarece acest proces necesită multă muncă, autorul acestui studiu a dezvoltat un design alternativ care necesită mult mai puţină forţă de muncă (mai puţin de o cincime):

Straturile care constituie acest etaj pot fi văzute în 14.21. Pentru a distruge acţiunea capilară, stratul cel mai de jos este format din pietriş grosier. Peste aceasta este aşezată o hârtie de pâslă bituminoasă rezistentă la umezeală, urmată de un strat de bază termoizolant din vată de stâncă. (Aceasta din urmă este necesară doar din cauza cerinţelor stricte de izolare termică cuprinse în reglementările germane mai recente; altfel ar fi suficient un lut uşor.) Peste acest strat se toarnă un lut mineral uşor de 12 cm grosime. Acest lucru asigură atât o izolaţie termică suficientă, cât şi rezistenţa structurală necesară.

Lotul uşor a fost preparat într-o betoniera normală şi apoi turnat dintr-o roabă (14.22).

Pentru a reduce timpul de întărire, la amestec a fost adăugat ciment 4%. Pentru a obţine o duritate adecvată a suprafeţei, a fost aplicat în două straturi un mortar de lut de 3 cm grosime (conţinând suficient nisip grosier pentru a minimiza apariţia fisurilor de contracţie). Pentru acest mortar, s-au testat cu succes 6% (în greutate uscată) din trei agenţi de stabilizare diferiţi: primul, sticla cu sodă a fost adăugată după ce a fost diluată 1:1 cu apă; al doilea, ulei de in fiert dublu; iar al treilea, lipici var-cazeină (facut din 1 parte var hidraulic şi 5 părţi brânză albă fără grăsimi, amestec de vigoare-

fără apă timp de două minute şi apoi lăsat să stea) cu cretă suplimentară în proporţie de 10%.

Amestecurile au fost aplicate ca tencuieli cu conţinut scăzut de umiditate şi suprafaţa netezită cu o mişcare de rotaţie a mistriei. După uscare completă, toate aceste suprafeţe au fost ceruite.

Toate cele trei amestecuri au prezentat o duritate foarte bună a suprafeței. Amestecul de ulei de in a avut dezavantajul mirosului său puternic și a unui timp lung de uscare, dar a arătat cea mai bună duritate a suprafeței.

Acoperişuri înclinate umplute cu lut uşor

Acoperişurile acoperite cu ţiglă utilizate în mod obişnuit pot fi umplute cu lut uşor pentru a le spori izolaţia termică şi fonică. Dacă spaţiul creat de un căprior tipic de 16 cm înălţime este umplut cu lut uşor cu o densitate de 600 kg/m3 şi tavanul din scânduri de lemn, acoperişul atinge o valoare U de 0,8 W/m2K (14,24 A). Trei soluţii, B, C şi D, arată posibilităţi de atingere a unor niveluri mai ridicate de izolare termică, aşa cum se solicită în multe ţări din nord.

Acoperişuri acoperite cu pământ

În zonele cu climă uscată, acoperişurile plate acoperite cu pământ au fost folosite de secole în arhitectura rurală tradiţională. Una dintre cele mai mari provocări atunci când se construieşte în ţările în curs de dezvoltare este producerea de acoperişuri de lut de succes, rezistente la intemperii, care s-ar putea dovedi durabile în zonele ploioase. Costul unei structuri tipice de acoperiş în astfel de ţări este de obicei de 25% până la 30% din costurile totale ale clădirilor. Şindrila de lut (vezi capitolul 7, p. 70) a fost propagată în Germania la începutul secolului al XX-lea şi a existat chiar şi un standard publicat, DIN 18957 Unele acoperişuri tradiţionale acoperite cu lut şi câteva experimente recente cu acoperiri de lut sunt discutate în această secţiune.

Acoperişuri tradiţionale

În multe climate subtropicale, moderate şi reci, acoperişurile tradiţionale plate şi uneori chiar înclinate au fost construite de secole. Exemple tipice sunt acoperişurile plate ale indienilor Pueblo din New Mexico, SUA (vezi 6.3) şi cele ale Dogonilor din Mali, Africa de Vest (14.25).

Toate acoperişurile plate sunt similare în construcţie. Trunchiurile de copac sau bambusul formează elementele structurale primare. Pe acestea sunt aşezate ramuri şi crenguţe pentru a forma o reţea destul de densă peste care poate fi bătut sau tencuit lut de paie. Finalul grosier constă din mai multe straturi de argilo argilos, care conţin de obicei o cantitate mare de nisip grosier; uneori se adaugă păr, fibre sau bălegar de vacă şi se netezeşte cu grijă.

În zonele în care sunt puţine precipitaţii, fisurile de contracţie nu reprezintă o problemă. Când apa intră în aceste crăpături, argilosul argilos se umflă şi le sigilează. Numai în unele cazuri se folosesc acoperiri suplimentare. În Anatolia, Turcia, de pe malurile lacurilor sărate este prelevat un sol argilos special, cu un conţinut ridicat de sare, pentru a sigila acoperişurile argiloase. Datorită higroscopicului

14.25

14.26

14.27

proprietatea sării, acest lut rămâne umed pentru perioade mai lungi şi împiedică pătrunderea apei cât timp rămâne în această stare. Dacă în timpul uscării apar fisuri de contracţie, umflarea apare în timpul contactului cu ploaia şi etanşează fisurile. Odată ce ploaia a spălat o parte din sare, reducând efectul de auto-etanşare al stratului grosier superior, locuitorii pot fie să stropească sare, fie să toarne apă sărată pe ea pentru a regenera sigiliul (Dalokay, 1969).

Atunci când faceţi acoperişuri plate acoperite cu lut, trebuie reţinut că marginile acoperişului sunt susceptibile la deteriorări mecanice, în special prin eroziunea vântului şi a apei. Acest lucru poate fi prevenit prin soluţii de tipul prezentat în 14.27. Dacă suprafaţa acoperişului trebuie păşită, atunci se recomandă plăci (14.27 D).

Ilustraţia 14.26 prezintă un acoperiş înclinat din nordul Venezuelei, format din straturi de bălegar de vacă stabilizate cu mortar de lut de paie aplicat în mai multe straturi (8 până la 12 cm), peste o substructură de lemn formată din crengi şi crenguţe. După sezonul ploios, stratul superior este în mod normal refăcut. au dovedit că aditivii pot creşte rezistenţa la intemperii a lutului.

Se bazează pe rezultatele testelor BRL, descrise în capitolul 4, p. 40, un prototip de locuinţe la preţ redus a fost construit la Pujili, Ecuador, de către grupul FUNHABIT, Quito şi autor. Acoperişul a fost realizat dintr-o substructură din lemn construită din trunchiuri de copaci, ramuri şi stuf. Acesta a fost acoperit de mai multe straturi de tencuială lutoasă care aveau o grosime totală de 8 cm (14,28). Primul strat constă din argilă argilosă diluată cu piatră ponce (0 până la 12 mm diametru) şi ulei mobil rezidual (52 părţi argilă: 28 părţi piatră ponce: 1 parte ulei). Acest amestec, care asigura şi izolaţie termică, a fost aşezat într-o consistenţă destul de uscată şi compactat prin batere. Stratul superior, gros de 2 până la 3 cm, are următorul amestec: 72 părţi lut, 36 părţi piatră ponce (0 până la 5 mm), 12 părţi bălegar de vacă, 12 părţi bălegar de măgar, 8,5 părţi ulei mobil, 6 părţi fibre de sisal liber (3 până la 5 cm lungime) şi 1 parte ulei de in fiert dublu. După câteva zile, când amestecul a fost oarecum uscat, a fost recompacat cu o mistrie metalică, folosind o presiune mare, până când suprafaţa a devenit lucioasă.

Soluţii noi

În zonele ploioase, unde acoperişurile înclinate sunt comune, clădirile tradiţionale nu au acoperişuri de lut. Cu toate acestea, experimentele recente

14.29

Bolţi de blocuri de pământ şi cupole

Bolţile şi cupolele care acoperă spaţiile interioare şi realizate din blocuri de pământ se găsesc în principal în clădirile religioase din Europa. În sudul Europei, Asia şi Africa, totuşi, acestea au fost utilizate şi în reşedinţe, birouri şi clădiri publice (vezi 1.1, 1.2, 14.29 şi 14.30).

Aceste structuri demonstrează mai multe avantaje în climatele calde şi uscate, în special în zonele cu o gamă largă de temperaturi diurne. Având în vedere masa lor termică inerentă şi înălţimile lor mai mari în centrul unui spaţiu, unde aerul luminos şi cald se adună şi poate fi evacuat cu uşurinţă prin deschideri, spaţiile boltite oferă un control climatic natural mai bun decât cele cubice standard. Au suprafeţe mai mici decât încăperile cubice de acelaşi volum şi, prin urmare, un câştig mai mic de căldură.

Şi în climatele reci şi moderate, bolţile şi cupolele au mai multe avantaje. Deoarece suprafaţa este mai mică pentru acelaşi volum, pierderile de căldură sunt mai mici, astfel că energia de încălzire este redusă.

În toate climatele, bolţile şi cupolele necesită mai puţin material de construcţie pentru a închide un anumit volum. În toate ţările în curs de dezvoltare, bolţile şi cupolele sunt de obicei mai ieftine în comparaţie cu acoperişurile plate sau uşor înclinate. Observaţiile au arătat că încăperile cu bolţi şi cupole au un efect plăcut şi calmant asupra locuitorilor, în contrast cu camerele cu tavane plate.

Până de curând bolţile şi cupolele de lut au fost construite numai cu chirpici - cu excepţia a două cupole experimentale: cupola de pământ batut descris în capitolul 5, p. 59 şi o cupolă stranglehm construită la BRL în 1985. În numeroase regiuni aride, unde lemnul nu este disponibil ca material de construcţie, au fost dezvoltate tehnici pentru a construi bolţi şi cupole din chirpici asezonaţi cu aer, fără grinzi structurale şi chiar fără cofraje. Aceste tehnici sunt descrise în secţiunile următoare.

Despre geometria boltilor si cupolelor

Bolile şi cupolele sunt elemente structurale curbe bidimensionale care servesc la acoperirea spaţiilor interioare. Structurile învelişului cu aceeaşi geometrie prezintă comportamente structurale foarte diferite. Sunt capabili să transfere momentele de încovoiere pe suporturile lor. Cu toate acestea, bolţile şi cupolele din zidărie transferă doar sarcini sub compresie. Dacă sunt singure curbate, se numesc bolţi (14.31, stânga); dacă sunt dublu curbate, se numesc cupole (14.31, dreapta). Bolţile şi cupolele pot fi construite dintr-o varietate de elemente geometrice de bază. Ilustraţia 14.32 prezintă două bolţi în cruce (A, B) şi două bolţi domestice (C, D); toate formele sunt compuse din părţile unei bolţi cu butoaie. La cupolele care formează suprafeţe de revoluţie, adică ale căror forme provin din rotaţia unei curbe în jurul unei axe verticale (de obicei un arc circular) şi care sunt aşezate deasupra încăperilor pătrate, problema geometrică constă în necesitatea de a descoperi o trecere de la geometria circulară a cupolei la geometria pătrată a încăperii. Ilustraţia 14.33 prezintă patru sisteme diferite pentru rezolvarea acestei probleme. Soluţia A este un dom trunchiat al cărui cerc inferior este desenat în jurul pătratului, iar planurile trunchiante verticale se întâlnesc cu suprafaţa domului pentru a forma arcade. Soluţia B se numeşte cupolă pe pendentive. Aici, o cupolă emisferică se sprijină pe partea inferioară a unui dom trunchiat. Suprafeţele triunghiulare dublu curbate se numesc pendentive. Soluţia C prezintă o cupolă squinch al cărei cerc inferior este înscris pe pătrat iar suprafeţele de interconectare, numite squinches, sunt compuse dintr-o serie de arcade cu rază crescătoare. Această soluţie poate fi descrisă şi ca o cupolă trunchiată sprijinită pe pătratul diagonal înscris, cu suprafeţele astfel lăsate (triunghiulare în plan) fiind squinches-urile.

Soluţia D este o cupolă squinch parţială al cărei cerc inferior este desenat în jurul celui mai mare octogon regulat care se potriveşte pătratului, formând planuri trunchiate pe patru dintre laturi şi squinches pe celelalte patru. Soluţia E arată o modalitate total diferită de a rezolva această problemă şi poate fi numită cupolă în formă de clopot. Aici, avem o curbură dublă în continuă schimbare, începând de la margini cu o curbură anticlastică (în formă de şa) (adică, o curbură care este convexă într-o direcţie şi concavă în direcţia perpendiculară) şi continuă până la vârf cu o curbură sinclastică (în formă de cupolă) (adică, una care este curbată în mod similar în ambele direcţii).

Comportament structural

Din punct de vedere structural, bolţile şi cupolele sunt suprafeţe curbe care transferă aproape exclusiv forţe de compresiune pe suporturile lor. Ele sunt de obicei construite din cărămizi coapte sau pietre plate, cu îmbinări aşezate perpendicular pe suprafaţa cupolei, astfel încât cursurile să formeze un model radial ca în 14.34 de sus. Dacă cursurile sunt aşezate orizontal, astfel încât blocurile de zidărie să creeze înăuntru, (cf. 14.34 jos), atunci vorbim de o boltă sau cupolă „falsă". În astfel de cazuri, deoarece fiecare cursă este în consolă peste cea anterioară, blocurile sunt supuse unor forţe de încovoiere. Un exemplu de dom fals este prezentat în modelul ilustrat în 14.35 şi 14.36.

Principala problemă în construirea bolţilor este modul de transfer al forţei de împingere spre exterior din partea inferioară către suporturi şi fundaţii. Ilustraţia 14.37 arată cum forţele rezultante de la suport pot fi separate în compoziţii verticale şi orizontale.

nents. Cu cât forţele sunt conduse în fundaţie mai abrupte, cu atât forţele orizontale sunt mai mici şi cu atât formarea fundaţiei este mai uşoară. O regulă generală este că forţele rezultate din împingerea bolţii şi sarcinile peretelui trebuie să se încadreze în treimea mijlocie a bazei piedestalului şi fundaţiei. Aceasta înseamnă că excentricitatea nu trebuie să fie mai mare de 1/6 din lăţime (14.38).

Deoarece această consideraţie poate însemna o fundaţie foarte mare şi, prin urmare, costisitoare, se poate dovedi oportună planificarea unor măsuri structurale suplimentare, cum ar fi cele prezentate în 14.39. În soluţia A, de exemplu, înclinarea sarcinii rezultate este redusă prin intermediul sarcinilor suprapuse. O a doua soluţie simplă, prezentată în B, constă din contraforturi. În acest caz, pentru a preveni stresul excesiv de încovoiere, distanţele dintre contraforturi nu trebuie să fie prea mari. O variaţie structural superioară este prezentată în C, cu contraforturi conectate prin arcade. Soluţia D arată transferul forţei orizontale rezultate la elementele structurale de întindere din podea (plăci de beton armat, de exemplu), care neutralizează forţa astfel încât doar forţele verticale să fie transferate la fundaţie. Soluţia E prezintă legături simple de întindere care acţionează în acelaşi mod. Sunt plasate deasupra pereţilor care susţin bolta. În acest caz, trebuie prevăzute grinzi inelare sau periferice, care pot prelua forţele de încovoiere care apar între capete de legătură. Soluţiile F şi G arată două moduri diferite de a devia împingerea cupolei centrale către bolţi laterale joase.

14.39

Dacă două butoaie identice converg într-o fundaţie de bandă, atunci componentele orizontale ale forţei rezultate sunt neutralizate (vezi 14.40 dreapta). Dacă, pe de altă parte, butoaiele au forme diferite, atunci doar o porţiune din această forţă orizontală va fi neutralizată (14.40 stânga).

Deoarece bolţile din chirpici pot suporta doar forţe de tracţiune foarte mici, este important să le proiectăm astfel încât, cât mai aproape posibil, să apară doar forţe de compresiune. Cu

o boltă cu butoaie care suportă doar propria greutate, acesta este cazul dacă secţiunea sa transversală este o curbă catenară inversată, definită ca forma pe care o are un lanţ suspendat liber, care este supus doar forţei de tracţiune. Când este inversată, această curbă reprezintă linia de sprijin ideală (linia de forţă) pentru o boltă în care apar doar forţe de compresiune sub sarcină moartă (14.41). Această linie poate fi calculată prin formula catenară y = a cosh (x/a) şi poate fi definită prin poziţia celor două puncte de sprijin şi a vârfului (vezi 14.42). Într-o boltă semicirculară, linia de sprijin nu se desfăşoară în centrul grosimii peretelui.

Ar putea chiar să cadă în afara structurii, aşa cum se arată în 14.43 A. Acest lucru provoacă tensiuni de încovoiere şi de obicei duce la defecţiune. Dacă grosimea bolţii este suficient de mare pentru a

conţin linia de împingere în treimea sa mijlocie (14.43 B), atunci acest pericol este evitat. Secţiunea transversală ideală a unui dom sub sarcină moartă este aceea care creează doar forţe de compresiune care merg în jos (meridionale). Aceasta înseamnă o formă care nu creează nici forţe inelare de tracţiune, nici de compresiune. Dacă secţiunea transversală are forma unei catenare, atunci vor apărea forţe inelare de compresiune. Acest lucru ar putea fi dezavantajos dacă deschiderile trebuie tăiate în dom sau dacă este o cupolă cu deschidere mare.

Pentru a determina forma ideală a unei bolţi, se scoate o felie aşa cum se arată în 14.44, stânga

şi împărţite în segmente de lungime egală. Acest lucru dă segmente de arie identică şi, prin urmare, poate fi înlocuit cu sarcini individuale de mărime egală care acţionează în centrul fiecărui segment. Totuşi, în cazul unui dom, dacă luăm o felie, aşa cum se arată în figura din dreapta, şi o împărţim în segmente de lungime egală, lăţimile şi, prin urmare, zonele sunt în continuă scădere de la bază până la vârf. Dacă aceste segmente sunt înlocuite cu sarcini individuale, atunci încărcările lor sunt, de asemenea, reduse proporţional. Dacă forma ideală urmează să fie derivată dintr-un model, atunci, sarcinile corespunzătoare pot fi adăugate unui lanţ care formează apoi această curbă ideală, aşa cum se vede în 14.45. Aici, această curbă ideală este prezentată în contrast cu o catenară. În 14.46, sunt date formule pentru calcularea ariilor segmentelor unei sfere. Cu toate acestea, deoarece forma ideală nu este sferică, segmentele sale au o zonă uşor diferită de cea de la care am plecat. Prin urmare, această procedură trebuie considerată o primă aproximare, care este în practică suficient de precisă pentru intervale mai mici. O precizie mai mare poate fi atinsă prin iteraţii succesive, înlocuind razele de curbură variabile efective ale segmentelor măsurate din model şi ajustând sarcinile în funcţie de suprafeţele segmentelor astfel calculate.

Prima ipoteză (că domul este o emisferă) nu poate fi utilizată dacă înălţimea nu este egală cu jumătatea travei. În acest caz, ar trebui să începem de la forma unei elipse a cărei axă se află sub baza domului. Această ipoteză afirmativă este deja aproape de forma ideală, care poate fi apoi rafinată de model.

O metodă mai exactă pentru a obţine curba ideală este prin metode grafice utilizate în ingineria statică. La BRL, aceste metode au fost folosite pentru a dezvolta un program de calculator. Unele rezultate pentru unsprezece proporţii diferite de dom de la h = 1,5 r la h = 0,5 r (unde h este înălţimea şi r jumătatea deschiderii) sunt reprezentate grafic în 14.47. În fiecare caz, s-a luat în considerare o deschidere de luminator de 0,2 r. Ilustraţia 14.48 prezintă curba ideală în comparaţie cu o parabolă, o catenară şi un semicerc.

În secţiunea cupolei se află în interiorul curbei ideale, aşa cum se întâmplă cu catenaria, se creează forţe inelare de compresiune. Dacă este în exterior, vor apărea forţe inelului de tracţiune, ca şi în cazul părţii inferioare a unui dom emisferic.

Forţele inelului de tracţiune duc de obicei la defecţiune. Forţele inelare de compresiune de obicei nu creează probleme, cu excepţia cazului în care sunt întrerupte de deschideri mari.

Tabelul 14.51 oferă coordonatele liniei ideale de sprijin pentru şapte proporţii diferite de cupolă, de la h = 0,8 r la h = 1,4 r (unde h este înălţimea şi r jumătatea travei), fără a ţine cont de orice deschideri la vârf.

Pentru a ţine cont de sarcinile asimetrice care pot apărea în practică din cauza vântului, întreţinere etc. şi pentru a asigura conservativ că nu apar forţe inelului de tracţiune, este mai bine să păstraţi secţiunea în curba ideală, în special în partea superioară.

14.51

bolţi nubiene

Cu tehnica bolţii nubiene, folosită de secole în Egiptul de Sus, bolţile pot fi construite fără nici un cofraj, folosind arcuri înclinate din chirpici. Ilustraţia 14.49 arată o astfel de boltă, care are 3200 de ani şi se află în incinta templului lui Ramses al II-lea, lângă Luxor. Astfel de bolţi sunt de obicei construite din chirpici care măsoară 15 cm în lăţime, 25 cm în lungime şi doar 5 până la 6 cm în grosime. Aceasta înseamnă că greutatea fiecărei cărămizi pe unitatea de suprafaţă a rostului de mortar este foarte mică, ceea ce împiedică alunecarea chirpicilor în poziţii înclinate în timpul construcţiei. Gradul de înclinare a arcelor este un factor decisiv în procesul de construcţie. Aceasta ar trebui să fie între 65° şi 70° cu orizontală. După cum au arătat testele, dacă arcurile sunt construite la un unghi mai mic, partea inferioară a bolţii s-ar putea prăbuşi în timpul construcţiei, în timp ce dacă unghiul este mai mare, chirpici ar putea aluneca de sus.

Bolţile nubiene au nevoie de unul sau doi pereţi verticali pe care se sprijină arcurile înclinate (14,50 A şi B). De asemenea, este posibil să se sprijine arcurile de un „arc de susţinere" central, care are de obicei secţiunea bolţii şi trebuie realizat cu cofraj (14,50 C şi 14,52). Secţiunea transversală a bolţii nubiene, care este încărcată în principal de propria greutate, ar trebui să aibă forma unei catenare inversate, astfel încât să conţină doar solicitări de compresiune.

La BRL această tehnică tradiţională a fost rafinată în două moduri: în primul rând, în loc să se folosească formate dreptunghiulare, s-a folosit pentru partea inferioară a bolţii un bloc pătrat de 20 x 20 cm, grosime de 6 cm, iar în partea superioară a bolţii s-au folosit variante conice ale acestor blocuri, cu partea inferioară scurtată cu 1,5 cm. Acest lucru a redus forţa de muncă şi cantitatea de mortar necesară. S-a constatat că, prin utilizarea unei compoziţii optime de mortar cu forţă mare de legare, este posibil să se utilizeze chirpici cu grosimi de până la 10 cm. Acest lucru duce la economii suplimentare de mortar şi timp.

În al doilea rând, forma bolţii a fost controlată în timpul construcţiei prin întinderea unui cordon de la un perete de sprijin la altul (sau la schela corespunzătoare). Este esenţial ca acest cordon să treacă printr-un ochi la un capăt şi să fie ţinut întins de o greutate. Când este deformat de presiunea laterală, cablul va fi imediat restabilit de greutatea în mişcare în poziţia corectă. La construirea arcadelor înclinate, este recomandabil ca blocurile care formează arcul să fie ţinute împreună, menţinându-le în contact pe marginea interioară, cu aproape nici un mortar între ele, şi prinse cu o aşchie de piatră pe marginea exterioară, dacă este necesar, astfel încât să afişeze acţiunea arcului chiar înainte ca mortarul să se usuce (14.53).

a sau

Domuri afgane şi persane

În Afganistan, de secole a fost folosită o tehnică de construire a cupolelor fără cofraje. Cu această tehnică, cupole plate în formă de clopot sunt produse pentru a acoperi încăperi pătrate prin construirea de arcuri înclinate care sunt aşezate la unghiuri de cca. 30° faţă de orizontală. Ilustraţiile 14.54, 14.55 şi 14.56 arată procesul de construcţie a unui dom (peste o încăpere de 4 x 4 m), care poate fi construit în jumătate de zi de cinci până la şase persoane.

Cu această tehnică, blocurile de chirpici care formează arcul trebuie să atingă marginile lor inferioare, iar pene trebuie introduse în golurile superioare (vezi 14.56). Deoarece această metodă permite ca acţiunea arcului să intre în vigoare înainte ca mortarul să se fi uscat, lucrătorii pot chiar să stea pe cupolă în timp ce acesta este în construcţie.

La BRL au fost construite diferite modele pentru a arăta că o mare varietate de forme arhitecturale pot fi acoperite cu această tehnică şi că poate fi combinată şi cu tehnica domului nubian (14.57 - 14.60).

În 14.61 este prezentată o variaţie a tehnicii domului afgan. În vremuri trecute, aceasta a fost adesea folosită în Persia şi, prin urmare, este numită tehnica domului persan. Aici pornesc arcade înclinate din toate cele patru colţuri ale bazei. În acest exemplu, în dom au fost integrate dispozitive de captare a vântului boltite.

14.58

14.57

Domuri nubiene

Tehnica domului nubian este cunoscută în Egiptul de Sus de mii de ani. În această tehnică, liniile circumferenţiale de chirpici sunt aşezate folosind un ghidaj mobil (14.62)

Cu această tehnică, blocurile sunt răsucite pe muchie. Acest lucru evită alunecarea blocurilor proaspăt aşezate. Cu toate acestea, acest lucru necesită utilizarea periodică a blocurilor speciale în formă de pană (14.63). Datorită forţei de muncă ridicate necesare, majoritatea domurilor au fost construite fără întoarcerea blocurilor, adică plasarea lor radială.

Principalul dezavantaj al tehnicii domurilor nubiene este că pot fi produse numai domuri sferice. După cum este explicat în acest capitol, p. 116, în cupolele sferice, în porţiunile inferioare apar forţe inelare de tracţiune. Prin urmare, atunci când acoperă mai mare

14.59

În plus, trebuie aplicate trave, benzi de oţel sau grinzi inelare din beton armat sau alte elemente de întărire. Dacă acest lucru nu este luat în considerare, domurile ar putea eşua, aşa cum sa întâmplat în practică.

Grupul de Atelier de Dezvoltare, Lauserte, Franţa, a construit mai multe reşedinţe, birouri şi clădiri publice în Niger folosind o versiune modificată a acestei tehnici, prezentată în 14.64. Aici, în locul ghidajului rotativ montat central, se foloseşte un ghidaj rotativ excentric. Prin aceasta, forma generată poate fi astfel încât forţele inelului de tracţiune din partea inferioară să fie evitate. Cu toate acestea, forţele inelare de compresiune astfel create pot cauza probleme dacă se fac deschideri mai mari pentru intrări sau ferestre.

Domuri optimizate structural

Pentru a evita dezavantajele tehnologiei domului nubian, la BRL a fost dezvoltată o nouă tehnică de realizare a domurilor folosind un ghidaj rotativ. Cu această tehnică, geometria optimă din punct de vedere structural a cupolei poate fi realizată fără cofraje. Această geometrie evită toate forţele inelului de tracţiune, precum şi forţele inelului de compresiune. Derivarea acestei forme este descrisă la p. 116 din acest capitol.

Ghidajul rotativ are un cap în unghi drept în care sunt plasate blocurile. Acest unghi poate fi mutat pe o secţiune în T de metal curbată îndoită la formă. Această secţiune în T este fixată de un braţ rotativ, care este, la rândul său, fixat de un stâlp vertical. Ilustraţiile 14.65 până la 14.68 arată aplicarea acestei tehnici la un dom cu o deschidere liberă de 7 m şi 6 m înălţime liberă, care a fost construit la Universitatea din Kassel din Germania în 1992. Vârful este acoperit cu un cer piramidal cu 16 laturi.

14.66

14.65

aprinde. Grosimea peretelui domului este de numai 20 cm, iar secţiunea transversală a fost derivată folosind un program de calculator pentru a obţine forma optimă fără forţe inelare, aşa cum este descris la p. 116 din acest capitol. Pentru a preveni alunecarea blocurilor straturilor superioare în timpul construcţiei, cursurile nu sunt exact perpendiculare pe suprafaţa cupolei, ci sunt uşor

1472

1474

14.69

14.70

mai puţin înclinat, astfel încât stratul superior are cu 20° mai puţină înclinare şi se poate observa un efect parţial de corbeling. Acest lucru, în plus, are avantajul că nu are loc nici un efect de focalizare a sunetului (vezi 14.68). Blocurile folosite au fost conice şi extrudate printr-un bot special într-o fabrică de cărămidă mecanică.

Domuri si bolti pe cofraj

Construirea cofrajelor pentru domuri necesită foarte multă muncă şi materiale, motiv pentru care aproape toate tehnicile istorice de construcţie a domurilor au evitat acest lucru. O excepţie este cupola catalană puţin adâncă (uneori numită „cochilie funiculară" în India), care este în esenţă o cupolă în formă de clopot care poate acoperi baze triunghiulare, pătrate, dreptunghiulare sau de altă formă. Pentru cofraj au fost folosite plăci de lemn, table de oţel şi elemente din poliester armat cu fibră de sticlă.

Cu toate acestea, este mult mai uşor să faci un cofraj cu nisip umed, aşa cum se arată în 14.70. Când construiţi bolţi, este mult mai uşor să construiţi un cofraj, deoarece acestea au doar suprafeţe curbate individual. În plus, doar o bucată scurtă de cofraj poate fi folosită şi deplasată pe măsură ce construcţia bolţii continuă. Această tehnică este utilizată în mod normal pentru a construi bolţi cu cric (vezi 14.14). Bolta cu cric prezentată în 14.69 a fost construită pe un cofraj rar, ridicat pe şipci subţiri poziţionate sub îmbinările blocurilor de pământ. Aceste blocuri au fost aranjate fără mortar. Ulterior, rosturile au fost umezite, iar apoi mortarul a fost umplut de sus.

Tragerea cupolelor de pământ

Arhitectul persan Nader Khalili a construit mai multe domuri de pământ în Iran şi în SUA, pe care a încercat să le întărească ulterior trăgându-le din interior. În timp ce combinaţia celor

patru elemente folosite pentru a crea aceste spații, pământ, apă, aer și foc, le poate conferi o notă mistică, ele au totuși câteva dezavantaje în ceea ce privește clima și mediul extern. Arderea bușteni lor, ramurilor și crenguțelor creează poluare și consumă cantități mari de energie. În plus, procesul de ardere nu poate fi controlat complet și, prin urmare, nu este optim.

Încălzirea neuniformă a blocurilor poate produce fisuri reducând stabilitatea structurală. De asemenea, majoritatea porilor din blocuri sunt închiși prin ardere, reducându-le drastic capacitatea de a absorbi și desorbi umiditatea (vezi capitolul 1, p. 14). Acest lucru înseamnă însă că nu exploatăm avantajul principal al lutului ca material de construcție.

14.76

Perete de depozitare de pământ în grădinile de iarnă

Pentru a spori stocarea termică şi efectul de echilibrare a umidităţii al unei grădini de iarnă cu o suprafaţă de 20 m2, care face parte dintr-o reşedinţă din Kassel, Germania, a fost construit un zid de depozitare din pâini de lut plastic umed (14.76 şi 14.77).

Pâinile, cu dimensiunile de 20 x 14 cm, au fost formate manual şi stivuite fără mortar sau rosturi umplute, dublând astfel efectiv suprafaţa lutului care este activ în stocarea termică şi absorbţia şi desorbţia umidităţii. Suprafaţa peretelui de deasupra deschiderii vitrate, 14,76, a fost acoperită cu bile de lut aruncat, aşa cum este descris în capitolul 11, p. 95.

Loam în băi

Afirmaţia că o baie finisată cu lut este mai igienic decât o baie cu gresie îi uimeşte pe mulţi. Ambele experienţe de-a lungul mai multor ani cu băi cu pereţi lut şi investigaţii ştiinţifice privind comportamentul absorbtiv şi desorbtiv al lutului au demonstrat însă această afirmaţie.

S-a observat că oglinzile dintr-o baie cu gresie până în tavan se înceţesc după un duş fierbinte normal. Cu uşile şi ferestrele închise, oglinda rămâne aburită până la o perioadă de 30 până la 60 de minute după duş. Într-o baie cu pereţi de lut, în schimb, oglinda se limpezeşte în condiţii similare în doar 3 până la 6 minute. Acest lucru se datorează faptului că pereţii de argilă absorb umiditatea din încăpere când umiditatea relativă a acesteia este mai mare de aproximativ 50% şi o eliberează mai târziu când umiditatea aerului scade sub aproximativ 50% (vezi şi capitolul 1, p. 14).

Deoarece umiditatea în băile cu pereţi argilos se reduce rapid, nu poate apărea creşterea ciupercilor, în timp ce în băile cu gresie, umiditatea rămâne ridicată pe o perioadă mai îndelungată datorită suprafeţelor etanşe, permiţând creşterea ciupercilor în rosturile plăcilor, în special rosturile chituite cu material siliconic. în timp ce

formaldehida din amestecul de articulaţii previne acest lucru, trebuie menţionat că această substanţă chimică este cancerigenă.

Chiar şi peretele din spatele duşului poate fi de argilă, atâta timp cât perdeaua de duş se înfăşoară pentru a preveni stropirea acesteia, vezi 14.80. Ilustraţia 14.78, arată un „tapet de argint" deasupra unei căzi. Ţesătura veche a perdelei a fost înmuiată în nămol de argilă argilosă şi pălmuită pe perete şi sculptată cu degetele. Această suprafaţă poate fi făcută cu uşurinţă rezistentă la apă, acoperind-o cu hidrofuge, ulei de in fiert dublu, sticlă de apă sau alte vopsele şi acoperiri.

Mobilier incastrat si obiecte sanitare din lut

După cum sa indicat deja, plasticitatea lutului permite nu numai construirea de pereţi exteriori, tavane şi podele, ci şi de mobilier încorporat. Pentru aceasta, elementele de argilă atunci când sunt încă umede sunt deosebit de potrivite, deoarece li se pot da o mare varietate de forme; de asemenea, deschid noi posibilităţi estetice.

Peretele dormitorului prezentat la 14.80 este atât un perete exterior, cât şi un dulap încorporat. Este construit din elemente stranglehm (vezi capitolul 8, p. 77). Pereţii despărţitori laterali ai dulapului susţin şi peretele exterior. Tija de bambus, încorporată în timpul construcţiei, acţionează ca o tijă de suspendare şi, de asemenea, întăreşte pereţii despărţitori laterali. Pe un alt perete exterior al acestui dormitor, arătat în 8.25, p. 77, nişe şi pervazuri pentru depozitarea efectelor personale au fost sculptate din peretele stranglehm.

Rafturile pot fi fixate cu uşurinţă între pereţii stranglehm (vezi capitolul 8, p. 77) sau furtunuri uşoare umplute cu lut (vezi capitolul 10, p. 90). Ilustraţia 14.79 prezintă astfel de rafturi şi o oglindă integrată în perete. Ilustraţia 14.82 prezintă o baie al cărei duş central, jardinieră adiacentă şi grila de baie sunt acoperite cu furtunuri umplute cu lut.

Chiar şi lavoarele pot fi construite din lut brut. Exemplul prezentat în 14.81 este realizat dintr-un lut nisipos special cu forţă mare de legare, în care fisurile de contracţie au fost total evitate. La acest amestec s-a adăugat ulei de in dublu fiert 6%. După uscare, bazinul a fost acoperit cu un strat de ulei de in. Exemplul din 14.79 a fost folosit timp de paisprezece ani fără semne de deteriorare. În ambele cazuri, sifonul şi fitingurile de scurgere au fost montate într-un vas mic de ceramică, în jurul căruia a fost aranjat lut. Este sculptat din lut brut stabilizat cu 6% adeziv cazeină-var. Ambele chiuvete s-au dovedit a fi impermeabile.

Sisteme de incalzire pe perete

În climatele reci şi reci în care sunt necesare sisteme de încălzire, sistemele de încălzire prin perete integrate în pereţii de pământ sunt o soluţie de preferat. Se bucură de multe avantaje în comparaţie cu sistemele tradiţionale. Căldura este radiată, ceea ce evită circulaţia nesănătoasă a aerului şi circulaţia prafului. Sistemele de perete sunt mai economice, mai uşor de reparat şi mai puţin inerte decât sistemele de pardoseală.

Cea mai usoara modalitate de a construi un sistem de radiatii pe perete este fixarea tuburilor de plastic sau cupru pe peretele existent si acoperirea acestora cu tencuiala cu noroi, folosind apa calda sau fierbinte pentru transferul de caldura.

Sistem pasiv de incalzire solara pe perete

O reşedinţă cu birou din Kassel, Germania, are un sistem eficient de încălzire care funcţionează exclusiv cu energie solară (vezi p. 153). Energia solară este condusă printr-un strat izolator de 10 cm grosime de tuburi subţiri de policarbonat pentru a ajunge la un perete de argilă de 24 cm grosime care este acoperit cu tencuială de argilă. Tencuiala este acoperită cu o vopsea neagră, subţire, absorbantă. Acest perete radiaza caldura in interiorul

casei. Vara, când nu este necesară încălzirea, placa translucidă este acoperită de o perdea reflectorizantă (parasolar) (14.83).

clădire rezistentă la cutremur

15.1 Condominium of the Hakkas, China

Pământul ca material de construcţie şi-a pierdut credibilitatea în principal pentru că majoritatea caselor moderne cu pereţi de pământ nu pot rezista la cutremure şi pentru că pământul este considerat un material de construcţie pentru cei săraci. În acest context, este de menţionat că un recensământ efectuat de guvernul salvadorean după cutremurul din 13 ianuarie 2001 (măsurând 76 pe scara Richter), afirmă că casele din chirpici nu au fost mai grav afectate decât alte tipuri de construcţii.

Pe de altă parte, multe clădiri istorice din pământ au rezistat mai multor cutremure puternice în ultimele secole, de exemplu condominiile Hakas din China (15.1) şi multe fincas-uri din pământ solid din Argentina. Dar, de asemenea, casele cu acoperişuri uşoare şi pereţi flexibili de zgârietură - cum ar fi casa din Guatemala din 15.2 - pot rezista la şocurile de cutremur datorită ductilităţii (flexibilităţii) lor.

Calitatea unei structuri rezistente la cutremur poate fi exprimată în formulă

calitate structurală = rezistenţă x ductilitate

Aceasta înseamnă că cu cât rezistenţa unei structuri date este mai mică, cu atât flexibilitatea acesteia trebuie să fie mai mare, în timp ce cu cât flexibilitatea sa mai mare, cu atât rezistenţa necesară este mai mică.

Nu pământul ca material de construcţie este responsabil pentru defecţiunile structurale, ci sistemul structural al unei clădiri date şi dispunerea deschiderilor acesteia, aşa cum se discută în secţiunile următoare.

Cutremurele sunt cauzate de mişcările plăcilor tectonice sau de activitatea vulcanică. Cele mai predispuse regiuni la cutremure din lume sunt prezentate în 15.3. În Asia au fost înregistrate cutremure cu intensităţi de 8 pe scara Richter; în Anzi, cele de până la 8,7 Anual, se înregistrează aproape o sută de cutremure cu intensităţi peste 6 şi douăzeci cu intensităţi peste 7 pe scara Richter. Câteva mii de oameni sunt afectaţi de cutremure în fiecare an.

Clădirile sunt lovite în principal de acceleraţia orizontală creată de mişcarea pământului. Acceleraţiile verticale create de activitatea seismică sunt mai mici de 50% din cele orizontale.

Deoarece clădirile de lut au rareori mai mari de două etaje, această secţiune discută în principal problemele de rezistenţă la cutremur ale acestor tipuri de clădiri.

În clădirile cu unul sau două etaje, pericolul principal în timpul cutremurelor este că pereţii vor cădea şi acoperişurile vor cădea.

15.2

Prin urmare, una dintre principalele sarcini structurale la proiectarea clădirilor rezistente la cutremur este să se asigure că pereţii nu cad.

Măsuri structurale

La proiectarea pentru zone predispuse la cutremur, trebuie luat în considerare faptul că forţele seismice care acţionează asupra unei clădiri sunt proporţionale cu masa acesteia şi că deformarea creşte semnificativ odată cu înălţimea. Prin urmare, atunci când proiectaţi clădiri cu două etaje, este recomandabil ca parterul să fie construit solid, în timp ce etajul superior să fie menţinut uşor, de preferinţă cu o structură încadrată flexibilă. Acoperişurile grele cu plăci, ardezie şi ţigle trebuie evitate în principiu.

De obicei, pereţii cad în exterior, deoarece le lipseşte o grindă inelară închisă, o rezistenţă suficientă la încovoiere şi la forfecare şi deoarece deschiderile uşilor şi ferestrelor slăbesc structura peretelui. Sub influenţe seismice, forţele sunt concentrate în colţurile acestor deschideri, creând fisuri. Pentru a reduce pericolul de colaps, trebuie avute în vedere următoarele puncte:

Casele nu trebuie amplasate pe locuri înclinate (15.4).

Frecvenţa de rezonanţă a clădirii nu trebuie să se potrivească cu frecvenţa mişcării pământului în timpul cutremurelor. Aceasta înseamnă că casele grele cu construcţie solidă nu ar trebui să se sprijine pe baze de rocă tare, ci în schimb pe

soluri nisipoase sau mâloase. Casele luminoase, totuşi, funcţionează mai bine pe roca tare decât pe solul moale.

Diferitele părţi ale unei case nu ar trebui să aibă fundaţii pe diferite niveluri şi nici să aibă înălţimi diferite. Dacă o fac, atunci ar trebui să fie separate structural. Deoarece secţiuni de înălţimi diferite afişează frecvenţe de rezonanţă diferite, ar trebui să li se permită să oscileze independent.

Planurile ar trebui să fie cât mai compacte posibil şi ar trebui să fie simetrice. Planurile circulare oferă o rigiditate mai bună decât cele dreptunghiulare (vezi 15.5).

Fundaţiile trebuie să acţioneze ca ancore inelare rigide şi, prin urmare, ar trebui să fie întărite.

Fundaţiile, pereţii şi acoperişurile ar trebui

să fie bine fixate între ele, îmbinările putând rezista la forţele tăietoare produse.

Pereţii trebuie să fie stabili împotriva forţelor de încovoiere şi forfecare. Lucrările de zidărie trebuie să aibă rosturi complet umplute şi mortar puternic.

Pereţii portanti din zidărie trebuie să aibă grosimi minime de 30 cm; înălţimile lor nu trebuie să depăşească de opt ori grosimile lor (15.6).

Pereţii de zidărie ar trebui să fie rigidizaţi cu stâlpi la minimum la fiecare 4 m (cu secţiuni minime de 30 x 30 cm), sau cu stâlpi care sunt fixaţi structural în fundaţie (adică capabili să ia mişcare) (15.7).

Colţurile de perete, îmbinările dintre pereţi şi peste pereţi, precum şi deschiderile uşilor trebuie să fie rigidizate cu stâlpi verticali din lemn sau din beton armat, care sunt fixaţi structural în fundaţie, sau prin contraforturi, astfel încât forţele orizontale să nu deschidă aceste elemente (15.8, 15.22).

Pereţii trebuie să fie finisaţi deasupra cu o grindă inelară, care trebuie să fie fixată corespunzător de pereţi.

Buiandrugurile suplimentare deasupra uşilor şi ferestrelor trebuie evitate şi ar trebui să fie formate din grinzi inelare (15.21).

Acoperişurile ar trebui să fie cât mai uşor posibil.

Împingerile orizontale ale bolţilor şi cupolelor trebuie să fie suficient de conţinute de grinzi inelare, contraforturi sau legături.

Deschiderile destabiliza peretii si trebuie sa fie atent proportionate (15.23).

Există două abordări de bază pentru proiectarea rezistenţei la cutremur. Prima şi cea mai des folosită metodă este construirea rigidă a pereţilor, a acoperişurilor şi a îmbinărilor acestora

suficient încât să nu poată rupe sau să se deformeze sub sarcini seismice. A doua abordare este de a dota structura cu o ductilitate suficientă, astfel încât energia cinetică a oricărui impact seismic să fie disipată prin deformare. Aceasta este soluţia mai inteligentă, mai ales că implică mai puţine probleme structurale şi materiale.

Dacă, de exemplu, un perete vertical cu o structură încadrată stabilizată de diagonale de tracţiune este lovit orizontal din dreapta (aşa cum se arată în 15.9), va exista o concentrare a tensiunii la ambele capete ale legăturii care duce din stânga jos spre dreapta sus. Slăbiciunea, atunci, va apărea mai întâi la aceste îmbinări, care poate duce la cedarea peretelui. O structură încadrată elastic, fără diagonale, pe de altă parte - cu condiţia ca colţurile să poată dura un moment şi ca niciun element structural să nu fie supraîncărcat - permite de obicei să apară deformări fără a duce la prăbuşirea peretelui. În al doilea caz, evident, umplutura cadrului trebuie să fie şi ea oarecum flexibilă. Prin urmare, pereţii construiţi cu tehnica wattle-and-daub în care o reţea flexibilă de componente orizontale şi verticale este tencuită cu lut, de exemplu, sunt mai puţin predispuse la deteriorare decât pereţii de zidărie. Ilustraţia 15.1 arată o casă din Guatemala care a fost lovită de un cutremur puternic şi a fost suficient de flexibilă pentru a rezista la stres. Există trei principii generale diferite pentru proiectarea structurilor rezistente la cutremur:

Pereţii şi acoperişul sunt bine interconectaţi şi suficient de rigide încât să nu se producă deformaţii în timpul cutremurelor.

Faza inelă lipseşte.

Buiandrugurile nu ajung suficient de adânc în zidărie.

Distanţa dintre uşă şi fereastră este prea mică.

Distanţa dintre deschideri şi colţul peretelui este prea mică.

Plinta lipseşte.

Fereastra este prea lată proporţional cu înălţimea sa.

Peretele este prea subţire în raport cu înălţimea lui.

Calitatea mortarului este prea slabă, rosturile verticale nu sunt umplute în totalitate, rosturile orizontale sunt prea groase (mai mult de 15 mm).

Acoperişul este prea greu.

Acoperişul nu este fixat suficient de perete.

Pereţii sunt suficient de flexibili (ductili) pentru ca energia cinetică a cutremurului să fie absorbită prin deformare. În acest caz, este necesar să instalaţi un fascicul inel suficient de

puternic pentru a suporta forţele de îndoire; îmbinările dintre perete şi grinda inelară şi grinda inelară şi acoperiş trebuie să fie suficient de puternice.

Pereţii sunt proiectaţi aşa cum este menţionat la punctul 2, dar acoperişul este fixat pe coloane care sunt separate de perete, astfel încât ambele sisteme structurale să se poată deplasa independent, deoarece au frecvenţe diferite în timpul unui cutremur.

Trei proiecte de cercetare întreprinse de Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor, Universitatea din Kassel, Germania, care analizează daunele cauzate de cutremur la casele rurale cu un singur etaj din Guatemala, Argentina şi Chile, au concluzionat că aceleaşi erori în proiectarea structurală au dus în mod constant la prăbuşire. Cele zece greşeli principale sunt enumerate în 15.10.

La BRL a fost dezvoltat un test simplu în contextul unei teze de doctorat pentru a arăta influenţa formei peretelui asupra rezistenţei la şocuri seismice. O greutate de 40 kg la capătul unui pendul lung de 5,5 m a fost lăsată să cadă împotriva unui model (15,16). Casa de pământ batut cu plan pătrat a arătat primele fisuri mari după a doua lovitură (15.11). După trei lovituri, o secţiune a zidului s-a despărţit (15.12), iar după patru lovituri casa s-a prăbuşit (15.13). Casa de pământ zdrobit cu plan circular a prezentat însă crăpături iniţiale numai după trei lovituri (15.14), iar o mică secţiune a zidului s-a despărţit doar după şase lovituri (15.15) (Yazdani, 1985).

O soluţie simplă pentru stabilizarea pereţilor de pământ batut de grosimi mai mici este utilizarea elementelor în formă de L, T, U, X, Y sau Z (15.17). Datorită unghiurilor lor, au stabilitate mai bună împotriva forţelor laterale. Dacă un perete are o grosime de 30 cm, capetele libere ale elementelor nu trebuie să fie mai lungi de 3/4 şi nu mai scurte de 1/3 din înălţimea lor (vezi 15.19). Această lungime minimă este necesară pentru a transfera sarcinile în diagonală pe soclu sau fundaţie. Dacă capetele libere sunt mai lungi de 3/4 din înălţimea lor, acestea ar trebui să fie stabilizate cu un alt unghi. Dacă unghiul este bine fixat în partea inferioară a soclului şi în partea superioară a unei grinzi inelare, ar trebui să fie mai mare sau mai mare. Cu toate acestea, înălţimea nu trebuie să depăşească lăţimea de opt ori (vezi 15.6).

Forţele perpendiculare pe perete sunt transferate în unghiul paralel cu direcţia forţei. Aceasta înseamnă că este transferat, în loc să creeze o concentrare de stres la colţul interior al unghiului. Prin urmare, este recomandabil să măriţi secţiunea la acest colţ, aşa cum se arată în 15.17 şi 15.18.

Deschideri pentru usi si ferestre

Deschiderile de perete vor destabiliza un sistem de perete. În timpul cutremurelor apar adesea fisuri diagonale, începând de la marginile ferestrelor (15.20). Pentru a obţine o

legătură bună, buiandrugurile trebuie să pătrundă cel puţin 40 cm în perete (15.21). În acest caz, totuşi, zona de deasupra buiandrugului poate fi slabă şi se poate desprinde în timpul unui cutremur, aşa că cea mai bună soluţie este să folosiţi buiandrug ca grindă inelară pe care se sprijină structura acoperişului. Se recomandă, de asemenea, ca secţiunea de sub fereastră să fie construită ca o structură uşoară, flexibilă, de exemplu din panouri de lemn sau pădure. Trebuie luate în considerare următoarele reguli (15.23 şi 15.24).

$a > h/3 > 100cm$

$b < c/3 < 120cm$

15.25

Pereţi de pământ armat cu bambus

și 14 până la 30 cm grosime (15,28). Stabilitatea peretelui a fost asigurată de patru tije de bambus încorporate de 2 până la 3 cm grosime și

O tehnică de perete de pământ armat cu panouri de bambus a fost dezvoltată în 1978 ca parte a unui proiect de cercetare de către BRL și implementată cu succes împreună cu Universitatea Francisco Marroquin (UFM) și Centrul pentru Tehnologie Adecvată (CEMAT), ambele în Guatemala (15.25 - 15.29).

În acest proiect, au fost construite elemente de pământ batut armat cu bambus, cu lățimea de 80 cm și cu un etaj, folosind un cofraj metalic în formă de T de 80 cm lățime, 40 cm înălțime.

Secțiune în formă de T a elementului de perete. Aceste elemente au fost fixate în partea inferioară a unei ancora inelare din bambus care a fost încorporată în plinta din zidărie de piatră și atașată în partea de sus la o ancoră inelă dreptunghiulară din bambus.

Datorită nervurii care a fost integrată în elementul de perete, acest element are o rezistență de aproximativ patru ori mai puternică împotriva forțelor orizontale decât ar fi avut doar un perete de 14 cm.

După uscare, între aceste elemente apare un spațiu vertical de 2 cm. Acesta este apoi umplut cu lut. Această îmbinare acționează ca o îmbinare de defectare pre-proiectată, permițând o mișcare independentă a fiecărui element în timpul cutremurului.

Aceasta înseamnă că aceste îmbinări se pot deschide și întreaga structură se poate deforma (disipând energia cinetică seismică) fără ca unitatea de perete să se rupă sau să cadă. Stâlpii pe care se sprijină acoperișul sunt amplasați la 50 cm distanță de pereți (15.27) pe interior, astfel încât structura acoperișului să fie independentă de sistemul de pereți. Suprafața de pământ batut nu a fost tencuită, ci doar netezită cu o mistrie și apoi vopsită cu un amestec format dintr-un sac de var hidraulic, 2 kg sare comună,

M 1527 până la 15.29 Pământ-

I ■ rezistent la cutremur scăzut

Prototip de locuință cu costuri cu pereți de pământ armat cu bambus, Guatemala 1978
15.30 până la 15.32 Clădire prototip rezistentă la cutremur, Alhue, Chile, 2001

15.28

1 kg alaun, 1 kg sol argilos si cca

40 litri de apă.

În 1998, BRL a dezvoltat un alt sistem de perete de pământ armat care a fost utilizat pentru un proiect de locuinţe la preţ redus, construit în cooperare cu Universitatea din Santiago de Chile din Alhue, Chile, în 2001 (vezi 15.30 şi 15.31). Şi aici, ideea a fost să se separe acoperişul de sistemul de pereţi şi să se folosească elemente în formă de U şi L, care se stabilizează prin forma lor. Pentru a obţine o stabilitate suplimentară, acestea au fost întărite cu tije verticale de coligue (asemănătoare bambusului), de 3 până la 5 cm în diametru. Elementele de perete au fost, de asemenea, întotdeauna separate prin elemente luminoase, flexibile, sau prin uşi şi ferestre. Părţile inferioare ale ferestrelor şi părţile de deasupra uşilor nu au fost construite cu elemente solide, ci din cherestea uşoară. Frontoanele au fost construite din pai-lut uşor stabilizat de elemente din lemn, asemănător cu sistemul de vată.

Domuri

Pentru a construi un dom optimizat structural fără cofraj, BRL a dezvoltat un ghidaj rotativ care este fixat pe un catarg vertical. La capătul braţului rotativ este fixat un unghi, faţă de care zidarul aşează blocul de chirpici sau sol, permiţând poziţionarea cu precizie a blocului. Ilustraţiile 15.33 până la 15.36 arată aplicarea acestei tehnici de construcţie pentru un dom rezistent la cutremure cu o deschidere liberă de 8,8 m şi 5,5 m înălţime, construit în La Paz, Bolivia, în anul 2000. Domul este stabilizat de două grinzi inelare din beton armat, una în partea de jos a cupolei, alta în partea superioară a cupolei. Pentru a oferi o bună distribuţie a sunetului în dom, chirpici

au fost realizate manual într-o matriţă specială cu marginile rotunjite. Comportamentul acustic al domului a fost rafinat şi mai mult prin adâncirea îmbinărilor verticale pentru a obţine o anumită absorbţie a sunetului şi printr-o poziţie uşoară în consolă, care împiedică sunetul să fie focalizat spre centrul domului.

15.36

Design rezistent la cutremure pentru un proiect de locuinţe lowcost în Gujarat, India

la 15.40 Forme periculoase de bolţi, Bam, Iran

15.41 Seif care cu-

a fost cutremur la Bam, Iran, decembrie 2003

15.33 până la 15.34 Rotație

15.35

ghid

15.35 până la 15.36 Dom terminat

15.37 Soclu proiectat greșit cu linie de împingere excentrică, care se prăbușește ușor atunci când este lovit de șocuri seismice

Bolti

O regulă importantă pentru proiectarea soclului şi a fundaţiei este că forţa rezultată din partea inferioară a bolţii trebuie să treacă prin treimea interioară a suprafeţei fundaţiei. Aceasta înseamnă că excentricitatea ar trebui să fie mai mică de 1/6. Fundaţia trebuie să aibă o grindă din beton armat sau oţel, care să reziste şi la forţele orizontale suplimentare create de un cutremur.

Ilustraţia 15.37 arată o secţiune a unei clădiri care a fost construită într-o zonă predispusă la cutremure din Bolivia. Soclul său are proporţii periculoase din punct de vedere structural, deoarece forţa rezultată din boltă creează un moment de încovoiere în soclu şi nu rămâne în treimea interioară a peretelui, după cum este necesar. Această structură se va prăbuşi cu uşurinţă atunci când este lovită de un cutremur.

Secţiunea transversală a unei bolţi este foarte importantă pentru stabilitate. Pentru bolţile care poartă doar propriile sarcini moarte, o catenară inversată este secţiunea optimă, deoarece nu vor apărea momente de încovoiere în interiorul bolţii. Bolţile ascuţite, aşa cum se arată în 15.39, sau bolţile „plate", aşa cum se arată în 15.40, tipice pentru arhitectura iraniană, se prăbuşesc foarte uşor atunci când sunt lovite de şocuri seismice, în timp ce bolta din 15.41 a rezistat cutremurului puternic din Bam, Iran, în decembrie 2003. Doar partea din faţă a căzut.

Cea mai buna solutie pentru fatadele boltilor este sa le construiesti usoare si flexibile, fie din rogojini acoperite cu tencuiala de pamant, fie din scanduri de lemn.

Ilustraţia 15.38 prezintă un proiect al autorului pentru un proiect de locuinţe cu preţ redus rezistent la cutremur în regiunea Gujarat, India.

În 2001, o propunere a autorului de stabilizare a bolţilor din chirpici cu arcade de bambus, care garantează un anumit grad de ductilitate, a fost realizată într-o structură de testare construită în 2001 la Universitatea din Kassel, Germania (15.42-15.45). A fost construit folosind chirpici special în formă de U care se sprijină pe un arc, el însuşi construit din trei straturi de bambus despicat. Secţiunile de bambus au fost înmuiate în apă timp de trei zile pentru a le face flexibile. Apoi au fost aplecate peste bastoane, care au fost împinse în pământ de-a lungul unei curbe catenare (15.43). Pentru a menţine forma arcului, cele trei secţiuni de bambus au fost

înfăşurate împreună cu sârmă de oţel galvanizată la intervale de 50 cm. Arcul a fost poziţionat vertical şi fixat de bare de oţel care ies din soclu. Această conexiune trebuie să poată absorbi forţele de tracţiune în timpul unui cutremur. Deasupra bolţii din chirpici a fost fixată şi strânsă pe soclu o membrană din material poliester acoperit cu PVC. Acesta are două funcţii: în primul rând, oferă adăpost împotriva ploii şi vântului; în al doilea rând, pretensionează arcul, crescându-i astfel stabilitatea împotriva cutremurelor în timpul cutremurelor.

Astfel de tremurături pot deforma bolta într-o anumită măsură, provocând deschiderea rosturilor de chirpici, dar bolta nu se va prăbuşi, deoarece este susţinută de membrana precomprimată de tracţiune din partea superioară şi de arcul de bambus precomprimat compresiv dedesubt. Prin urmare, stabilitatea acestei structuri depinde în principal de ductilitatea acesteia. Totuşi, trebuie avut în vedere că, dacă pretensiunea membranei este mare, secţiunea optimă a bolţii este mai mult ca o elipsă şi nu o catenară inversată.

Pentru regiunile cu cutremure din Argentina şi Iran, autorul a dezvoltat un sistem similar pretensionat pentru bolţile din cărămidă de noroi. Ilustraţia 15.46 prezintă un proiect pentru o clădire a orfelinatului din Bam, Iran, unde sunt construite bolţi cu grosimi de 25 cm. Acestea sunt pretensionate cu benzi de oţel, care sunt strânse pe grinda inelară din beton armat din partea inferioară a bolţii. Forţele de pretensionare egale în toate părţile sunt asigurate prin utilizarea unei chei dinamometrice calibrate. Secţiunea optimă a seifului este derivată de un program de calculator. Acesta garantează că forţele rezultate din sarcina moartă a structurii şi forţele de pretensionare circulă de-a lungul mijlocului secţiunii transversale a bolţii.

Fabricarea chirpici personalizate

Pregătirea arcadelor de bambus

Seif de testare

Boltă cu membrană posttensionată

acoperi

Design pentru un orfelinat din Bam, Iran

Dome, Kassel, Germania, 1997

la 15,49 Elemente prefabricate de perete

15.50 Clădire prototip, Kassel, Germania, 1978

Pereţi textile cu umplutură de lut

Un proiect de cercetare BRL început în 1977 a examinat diferite abordări ale formării pereţilor folosind componente textile umplute cu pământ argilos, piatră ponce sau nisip.

Ilustraţia 15.47 prezintă structura domului construită în 1977, din furtunuri din poliester umplute cu pământ.

Două sisteme nou dezvoltate au fost testate într-o casă prototip low-cost destinată zonelor predispuse la cutremure din ţările în curs de dezvoltare. Primul, ilustrat în 15.50, era format din pereţi formaţi din două straturi de ţesătură de iută. Stâlpii subţiri de lemn sunt bătuţi cu ciocanul în pământ, iar ţesătura fixată de acestea din interior. Spaţiul dintre acestea este umplut cu pământ.

Cercetarea a mai arătat că elementele de perete de acest tip fără umplutură pot fi prefabricate la lungimi de până la 10 m şi apoi pliate şi rulate în mănunchiuri mici (vezi 15.48 şi 15.49).

Al doilea sistem constă din furtunuri din ţesătură de iută umplute cu piatră ponce sau pământ nisipos (15.51). Ţesătura este acoperită cu mai multe

straturi de vopsea de var (15.52) pentru a preveni putrezirea materialului si pentru a stabiliza suprafata si a o face impermeabila.

Ca parte a unui proiect de cercetare în cooperare al BRL cu UFM şi CEMAT din Guatemala în 1978, a fost ridicată o casă prototip de 55 m2 low-cost în Guatemala folosind furtunuri umplute cu pământ pentru pereţi. Această tehnică, dezvoltată în timpul experimentelor cu tehnica furtunului umplut cu pământ descrisă mai devreme şi adaptată la condiţiile locale din Guatemala (15.53 - 15.55), prezintă o rezistenţă foarte bună la cutremur datorită ductilităţii sale. Aici, furtunurile, cu un diametru de 10 cm, au fost realizate din ţesătură de bumbac şi au fost umplute cu pământ vulcanic care conţinea în principal piatră ponce. Acestea au fost scufundate în lapte de var (pentru a preveni putrezirea ţesăturii) şi apoi stivuite între stâlpi verticali gemeni ridicaţi la distanţe de 2,25 m. Stabilitate suplimentară a fost asigurată de tijele de bambus fixate vertical la o distanţă de 45 cm în interiorul fiecărui panou. După ce pereţii au fost stivuiţi, aceştia au fost finisaţi cu două straturi de vopsea de var. Structura acoperişului se sprijină pe stâlpi independenţi situati la 50 cm distanţă de pereţii din interior. Costurile materiale ale acestei structuri au fost doar aproximativ jumătate din costul unei case comparabile făcute din blocuri de beton de ciment.

Pereţii construiţi din furtunuri din material textil umplute cu lut mineral uşor sunt descrişi în capitolul 10, p. 90 şi capitolul 14, p. 133.

II Bu

ilt exemple

După cum arată exemplele din acest capitol, casele moderne al căror material principal de construcţie este argilosul nu trebuie să aibă un aspect exterior particular sau caracteristic. Pot fi tradiţionale sau moderne, simple sau sofisticate, umile sau exclusive. În climatele reci, argila ca material de construcţie nu este în mod normal vizibilă din exterior, deoarece este acoperită de materialele suplimentare necesare de izolare termică şi de protecţie împotriva intemperiilor. Cu toate acestea, interioarele pot prezenta o varietate de tehnici de construcţie a pământului şi aplicaţiile lor multiple. În acest capitol sunt documentate diverse clădiri de acest fel, împreună cu exemple din zone climatice mai calde unde este nevoie de mai puţină izolaţie termică; aceste exemple, prin urmare, afişează şi suprafeţe exterioare de pământ.

■ Două case semi-decomandate, Kassel, Germania

Aceste două case se caracterizează prin faţadele şi acoperişurile lor verzi, care se îmbină cu peisajul, şi prin conceptul lor adecvat din punct de vedere ecologic. Caracteristica notabilă a amenajării este că camerele sunt dispuse în jurul unui hol central polivalent cu o galerie deasupra, evitând astfel coridoarele şi integrând o grădină de iarnă. Toţi pereţii interiori prezintă cadru de lemn şi suprafeţe expuse de lut. Acoperişurile din lemn prezintă modele domestice speciale realizate din buşteni de lemn. Rafturile şi chiar chiuveta din baie au fost construite din lut brut (vezi capitolul 14).

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania Finalizare: 1985

Suprafata: 160 m2 + 120 m2

Fundaţie: Fundaţie în bandă de beton simplu Pardoseală: pietriş grosier de 27 cm; acoperit cu izolaţie termică şi podea din scândură de lemn sau argint mineral uşor de 14 cm grosime cu covoraş de sisal şi, în camerele umede, plăci de plută Pereţi exteriori: cărămizi verzi, lut extrudat, toate cu izolaţie termică suplimentară, cavitate de aer şi plăci de zada netratate

Pereţi interiori: cadru din lemn cu umplutură cu elemente de lut extrudat

Acoperiș: Structură din lemn; izolatie termica 12 cm; Țesătură din poliester acoperită cu PVC sudată cu aer cald cu grosimea de 2 mm; 15 cm de pământ amestecat cu argilă expandată; ierburi sălbatice vii

Vederi interioare ale a două case semi-decomandate, Kassel, Germania

■ Reşedinţă cu birou, Kassel, Germania

O clădire combinată de reşedinţă/birouri a fost construită în 1992 într-o suburbie rezidenţială din Kassel, Germania, care a fost construită conform standardelor ecologice. Toate camerele principale, precum şi o baie şi grădina de iarnă sunt acoperite cu cupole de

pământ. Intrarea este acoperită cu trei bolţi cu cric construite din cărămizi verzi, după cum s-a explicat în capitolul 14. Holul central este acoperit de o cupolă cu o deschidere liberă de 5,2 m şi o înălţime liberă de 4,6 m, care este prevăzută cu un luminator format dintr-o cupolă din sticlă acrilică cu două straturi. Începând din acest hol sunt patru încăperi suplimentare cu cupolă. Fiecare încăpere are aceeaşi deschidere, cu o înălţime liberă de 4 m, iar fiecare este prevăzută cu un luminator central şi o fereastră la înălţime normală. Construcţia acestor cinci domuri a fost realizată folosind ghidajul rotativ descris în capitolul 14. Deşi cupola centrală izvorăşte de la o înălţime de 1,75 m, iar cupolele celorlalte patru încăperi la înălţimi de 0,75 m, nu este necesară nicio grinda inelară, structura fiind proiectată astfel încât toate forţele rezultate să se încadreze în treimea mijlocie a fundaţiilor. Cupolele din baie şi grădina de iarnă sunt formate pe un hexagon neregulat şi au fost construite folosind o tehnică derivată din tehnica domului afgan (vezi capitolul 14) folosind arcuri înclinate la unghiuri de 40-60° faţă de orizontală.

Deschiderea în formă de ochi rămasă odată ce cele două seturi de arcade ating punctul în care converg este acoperită prin modificarea modelului arcadelor cu 90°. Toate domurile sunt acoperite cu un strat suplimentar de vată de rocă de 20 cm pentru izolare termică şi etanşate cu o membrană din plastic armat sudată cu aer cald de 2 mm grosime, care este impermeabilă şi „rezistă la rădăcini”. Acesta este acoperit cu 15 cm de pământ, care acţionează ca substrat pentru ierburile sălbatice rezistente la îngheţ şi la secetă.

Casa cu un singur etaj are o suprafata de 216 m2, inclusiv gradina de iarna. Pereţii, rafturile şi obiectele sanitare sunt acoperite.

construit de furtunuri umplute cu pământ şi chiar şi chiuveta de la baie este făcută din lut brut (vezi paginile 132 şi 133)

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania Finalizare: 1993

Suprafata: 155 m2 (casa) + 61 m2 (birou)

Reşedinţă cu birou,

Kassel, Germania

Arhitecţi: Gernot Minke, Kassel, Germania şi DAAT, New Delhi, India

Finalizare: 1993

Suprafata: 206 m2

Pereţi: Coloane de piatră cu umplutură din chirpici Acoperiș: Strat dublu de plăci de piatră de nisip cu cavitate de aer

■ Fermă, Wazirpur, India

Casa cu un singur etaj, cu o suprafaţă (inclusiv veranda) de 206 m2, este amplasată în mare parte în berme de pământ spre nordul lacului. Partea de sud este expusă la soarele de iarnă şi este umbrită împotriva soarelui de vară prin surplombi şi lambriuri. Camerele sunt aranjate în jurul unui patio central care conţine o mică piscină cu plante. Acest lucru permite ventilarea încrucișată pentru toate încăperile şi răcirea prin evaporare. Planul a fost generat de un model de octogoane şi pătrate. Cadrul structural este alcătuit din stâlpi de piatră portantă care susţin grinzi şi plăci de piatră pentru a forma incinte uşor domestice peste toate încăperile. Un acoperiş de piatră de culoare deschisă deasupra acestei structuri creează o cavitate de aer şi astfel reflectă radiaţia solară şi oferă umbră acoperişului subţire de dedesubt. Pereţii de umplutură sunt construiti cu chirpici (cărămizi de noroi lucrate manual). Oriunde bermurile acoperă faţa exterioară, o cavitate de aer este formată dintr-o placă de piatră înclinată sprijinită de perete. Toate suprafeţele exterioare ale clădirii au fie cavităţi de aer, fie umbrire de vară prin surplome şi jaluzele. Persoanele din piatră ale tuturor ferestrelor sunt proiectate pentru a prelua funcţia grătarului obişnuit de siguranţă din oţel şi, în acelaşi timp, oferă umbrire solară, precum şi reflectarea luminii naturale în încăperi. Răcirea suplimentară în lunile de vară este asigurată tuturor încăperilor printr-un sistem de tunel de pământ. Distanţa de la ventilatorul de 2 kW până la clădire este de aproximativ 60 m. Secţiunea este formată din două canale de zidărie la adâncimi medii de 3 m sub suprafaţă. Viteza maximă a aerului este menţinută la 6 m/sec.

Elementele climatizării pasive sunt prezentate în desenul de mai jos.

I Honey House din Moab, Utah, SUA

Această casă de ţară a fost construită din tuburi sau saci umplute cu pământ. Grosimea pereţilor este de 50 cm, iar diametrul spaţiului interior este de 3 m. Au fost folosite în total patruzeci de tone de pământ.

Suprafețele exterioare sunt acoperite cu tencuială lut-pai, iar marginile deschiderilor și piedestalul cu tencuială lut. Suprafețele interioare au fost tencuite cu lut.

Proiectare și construcție: Kaki Hunter, Donald Kiffmeyer, Moab, UT, SUA

Finalizare: 1998

Suprafata: 11 m2

I Casă cu trei familii, Stein pe Rin, Elveţia

Clădirea este o structură cu stâlp şi grinzi cu trei etaje, care este plăcută cu înveliş de contrafort diagonal. Pereţii exteriori poartă o tencuială exterioară de var pe plăci de construcţie din lână de lemn uşoară, în spatele căreia se află o izolaţie din celuloză de 12 cm grosime. Interiorul pereţilor exteriori este alcătuit din lut de ras din aşchii de lemn de 20 cm grosime, acoperit cu tencuială de argilă. Frontonul expus la intemperii este prevazut cu invelis din lemn de zada cu ventilatie in spate. Pereţii interiori sunt umpluţi cu chirpici. Acoperişul din cărămidă şi balconul se proiectează spre exterior, astfel încât camerele sudice sunt umbrite vara, dar totuşi permit lumina soarelui iarna.

Design: Michael Nothelfer, Uberlingen, Germania

Finalizare: 1997

Suprafata: Subsol: 82 m2

Parter: 118 m2

Mansarda: 108 m2

I Residence, La Paz, Bolivia

Reşedinţa este situată la marginea capitalei Boliviei, la o înălţime de 3700 m deasupra nivelului mării. Este construit din chirpici lucrati manual si este format din trei bolti de trecere. Boltile au grosimi de 30 cm si dau un decalaj pozitiv pentru radiatia solara. Aceasta înseamnă că radiaţia solară pătrunde în încăperi seara şi noaptea când temperaturile exterioare sunt scăzute. Boltile sunt tencuite cu tencuiala de pamant, care este acoperita cu o vopsea acrilica elastica pentru a oferi adapost impotriva ploii.

I Residence, Turku, Finlanda

Clădirea parţial cu două etaje se află la graniţa oraşului şi găzduieşte o familie de cinci persoane. Sistemul structural al pereţilor este asigurat de un schelet din lemn. Peretii exteriori sunt formati din cuburi prefabricate de 40 cm grosime compuse dintr-un amestec de pamant argilos si paie. Greutatea lor specifică este de 450 kg/m2. Aceste blocuri sunt acoperite fie cu scânduri de cherestea, fie cu tencuială de var. Valoarea U a pereţilor este de 0,28 W/m2K.

Arhitect: Teuvo Ranki, Turku, Finlanda Finalizare: 1999

Suprafata: 127 m2

I Residence şi studio la Gallina
Canyon, New Mexico, SUA

Reşedinţa cu două etaje, construită din chirpici uscaţi la soare, nestabilizaţi şi fabricaţi local, oferă vederi spectaculoase de pe terasele sale şi de pe acoperişul Canionului Gallina din Munţii Sangre De Christo, la nord de Taos, New Mexico. Afişează mai multe caracteristici de design conştient de mediu, cum ar fi încălzirea solară pasivă printr-o combinaţie de câştig solar direct cu un coş de fum termic, care distribuie aer cald în camerele mai răcoroase din partea de nord a casei. Electricitatea este susţinută de un sistem fotovoltaic, iar apa de pe acoperişuri este recoltată în scopuri de grădinărit. Suprafeţe interioare

arătaţi finisaje de tencuială cu noroi la faţa locului, pardoseli din gresie şi grinzi de stejar reciclat.

Arhitect: ONE EARTH DESIGN, Joaquin Karcher, Taos, NM, SUA

Constructor: Aqua Fria Construction, Ed Baca, Taos, NM, SUA

Finalizare: 2001

Suprafata: 390 m2

■ Reşedinţa la Des Montes, lângă Taos, New Mexico, SUA

Această reşedinţă somptuoasă este situată în apropiere de Taos, New Mexico, un oraş şi o zonă care are o lungă tradiţie în construcţiile din chirpici. Casa oferă două dormitoare, un living circular cu o mansardă de dormit pentru oaspeţi deasupra şi o bucătărie deschisă/zonă de luat masa. Terasa de deasupra oferă vederi uluitoare ale munţilor din jur. Casa are doua prispa, dintre care unul se deschide spre o gradina zidita cu o fantana. Toţi pereţii sunt construiti din chirpici lucraţi manual şi tencuiţi cu noroi; uneori se adăugau pigmenţi naturali. Au fost folosite doar finisaje naturale şi non-toxice. Alte caracteristici ecologice includ un concept de design solar pasiv, un sistem solar de apă caldă şi o podea din beton colorat cu căldură radiantă, cherestea recoltată local şi un sistem de colectare a apei de pe acoperiş care iriga grădinile.

Arhitect: ONE EARTH DESIGN, Joaquin Karcher, Taos, NM, SUA

Constructor: John Havener, Cadillac Builders, Taos, NM, SUA

Finalizare: 2004

Suprafata: 204 m2

■ Casita Nuaanarpoq la Taos, New Mexico, SUA

Camerele sunt grupate în jurul unei scări centrale a cărei coloraţie roşu închis este foarte vizibilă din exterior. Casa este autonomă energetic, cu celule fotovoltaice care furnizează energia electrică necesară. Recoltarea pasivă a energiei solare de către faţa de sticlă, precum şi peretele masiv de stocare din interior şi izolaţia termică extrem de eficientă oferită de pereţii exteriori, formaţi din bile de fân, au ca rezultat un control climatic adecvat pentru această casă, într-un climat deşert cu diferenţe extreme de temperatură.

Arhitecţi: Edge Architects; Ken Anderson, Pamela Freund, Taos, NM, SUA

Finalizare: 2004 Suprafata utila: 140 m2

I Reşedinţă şi birou la Bowen Mountain, New South Wales, Australia

Coşul solar evacuează aerul cald printr-un efect de pâlnie. În timpul iernii, o sobă cu lemne oferă încălzire suplimentară, după cum este necesar.

Etajul inferior are un perete portant de 3000 mm din chirpici lucrat manual. Etajul superior are o structură din lemn cu stâlp şi grinzi cu umplutură din chirpici de 250 mm la exterior şi 200 mm respectiv 120 mm la interior. Pereţii sunt tencuiţi pe ambele părţi cu tencuială de noroi. Tencuiala exterioară este stabilizată cu gunoi de vacă. Deschiderile mari din sticlă cu jaluzele permit vedere la peisajul tufişului şi oferă un câştig solar de căldură. O sobă pe lemne oferă căldură suplimentară iarna.

Arhitecţi şi constructori: Ray & Lynne Trappel, Bowen Mountain, Australia

Finalizare: 2004

Suprafata: 230 m2 (locuinta) + 80 m2 (birou)

■ Vineyard Residence din Peninsula Mornington, Victoria, Australia

Elementele predominante ale acestei reşedinţe, care este situată într-o vie mare, sunt zidurile de pământ batut. Zona de zi se extinde spre veranda de nord, bucătăria spre o zonă informală de terasă. Studioul se deschide spre grădină.

Dormitorul principal, cu pereţii înclinaţi spre exterior, evocă impresia de a continua în peisaj. Ecranul de intrare reduce soarele de vest în zona de zi. Ventilaţia încrucişată este realizată în toate zonele.

Arhitecţi: John Wardle Architects, Melbourne, Australia

Finalizare: 2002

Suprafata: 400 m2

I Residence, Helensville, Noua Zeelandă

Această casă de 180 m2 construită de proprietar a necesitat 9 ani de muncă. Structura a fost construită din cherestea reciclată, chirpici formaţi manual din pământ local. Podelele sunt din ardezie pământ sau lemn reciclat. Faţada din sticlă permite încălzirea solară pasivă. Este instalat un foc de lemne pentru gătit, apă caldă şi încălzire suplimentară.

Proprietatea prezintă multe aspecte legate de permacultură. Există o toaletă cu compost fără apă, iar o moară de vânt pompează apă în grădină.

Arhitecţi: Graeme North, Warkworth,

Noua Zeelandă

Constructori: Collen şi John Brown

Finalizare: 2005

Suprafata: 180 m2

■ Reşedinţa, São Francisco Xavier, Brazilia

Reşedinţa este situată la poalele unui munte, pe un loc greu accesibil. A fost construit din materiale de construcţie locale, cum ar fi pământ, piatră, bambus şi lemn, în mare parte luate direct de pe amplasament. Trunchiurile de eucalipt, folosite anterior ca stâlpi de iluminat şi stâlpi de curent în oraş, au fost reciclate ca stâlpi şi grinzi.

Arhitect: Maxim Bucaretchi, Brazilia Finalizare: 2002

Suprafata: 330m2

Bibliotecă

Etajul superior: 100 m2

■ Institutul Panafrican pentru Dezvoltare, Ouagadougou, Burkina Faso

Centrul de cercetare şi formare de 5.000 m2 include trei grupuri distincte de clădiri: un centru de predare şi administrare, inclusiv bibliotecă şi restaurant; locuinţe pentru 72 de studenţi; si case pentru 9 profesori. Toţi pereţii, bolţile şi cupolele au fost construite din blocuri de sol stabilizate care au fost fabricate din pământ local la faţa locului. Boltile si cupolele au fost ridicate in tehnica nubiana fara cofraj. Suprafetele exterioare au fost tencuite cu tencuiala cu noroi care se stabilizeaza cu var si ciment.

Proiectul a fost început în 1981 şi finalizat în 1984. În 1992 a primit premiul Aga Khan pentru arhitectură.

Arhitect: Philippe Glauser, Zurich, Elveţia Inginer: Ladji Camara

Finanţare: EZE (Evangelische Zentralstelle fur Entwicklungshilfe, Bonn-Bad Godesberg), DDA (Direction de la cooperation en development et de l'Aide humanitaire, Berna), IPD (Institut Panafricain pour le Developpement)

■ Clădire de birouri, New Delhi, India

Această clădire de birouri a fost construită pentru a demonstra că încăperile cu cupolă şi boltite construite din blocuri de pământ sunt propice pentru un climat interior mai bun şi pot fi mai economice decât clădirile tradiţionale cu acoperişuri plate din beton.

Proiectul a fost construit ca parte a unui proiect de cercetare şi dezvoltare sponsorizat de agenţia germană Gate/GTZ.

Cladirea ofera spatii de birouri si laborator pentru un grup de cercetare cu o suprafata utila de 115 m2.

Sala centrală funcţionează ca o sală polivalentă pentru seminarii, întâlniri şi expoziţii.

Cele trei domuri au fost construite din blocuri de pământ, utilizând o formă de alunecare rotativă care a fost dezvoltată de Laboratorul de Cercetare a Construcţiilor, Universitatea din Kassel, Germania (vezi p. 127). Blocurile de sol au fost produse de o presă acţionată manual.

Pentru încălzire şi răcire a fost instalat un sistem de tunel de pământ. Condiţiile climatice impun ca camerele să fie răcite din aprilie până în septembrie şi încălzite din decembrie până în februarie. În acest scop a fost montat un sistem de ţevi din gresie lungă de 100 m la o adâncime de 3,50 m, prin care aerul ambiental este suflat de două ventilatoare. Aerul suflat primeşte temperatura pământului aproape constantă de aproximativ 25°C, ceea ce corespunde temperaturii medii anuale. Acest aer răceşte clădirea în sezonul cald şi o încălzeşte în sezonul rece.

Economisirea de energie are ca rezultat aproape 38.000 kWh pe an, aproximativ 2/3 din cantitatea totală. Economiile la costurile de construcţie în comparaţie cu o clădire convenţională cu acoperiş plat din beton a fost de 22%.

Fundaţie şi soclu: Cărămizi arse

Pereţi şi cupole verticale: Blocuri de pământ stabilizate Bolţi: Chirpici stabilizaţi lucraţi manual

Tratamentul suprafeţei: Mortar de nămol de vacă cu hidrofugă

Luminatoare: sticla acrilica cu deschideri pentru ventilatie naturala

Arhitect şi supraveghetor: Gernot Minke,

Kassel, Germania

Colaborator: R. Muthu Kumar, New Delhi, India Concept energetic: NK Bansal, New Delhi, India Finalizare: 1991

Suprafata: 115 m2

■ Şcoală la Solvig, Jarna, Suedia

Clădirea cu două etaje aparţine complexului de clădiri al unei şcoli Waldorf. Conţine două săli de clasă, fiecare cu un mic hol de intrare.

Peretii de la subsol sunt construiti din doua straturi de blocuri de beton usor de 15 cm latime si intervale de 20 cm, cavitatile fiind umplute cu perlit pentru izolare termica. Primul

etaj are pereți portanti de 50 cm lățime din pâine solidă de lut, acoperiți de o grindă inelară din lemn. Pâinile au fost formate manual din sol argilos local, urmând regulile tehnicii luturilor Dunne, descrise în capitolul 8.

Acoperișul este susținut de o structură cu cadru din lemn, izolată de gazon și acoperită cu șindrilă de piatră și ardezie.

Camerele sunt incalzite cu seminee deschise.

Arhitect: Mats Wedberg, Hallstavik, Suedia

Finalizare: 1993

Suprafata: 140 m2

I Grădiniţa, Sorsum, Germania

Grădiniţa are o cupolă centrală, construită din cărămizi de lut (nămol) şi cu o deschidere liberă de 10 m, peste o sală polivalentă. Grosimea sa este de numai 30 cm. Fiecare dintre cele trei camere de grup este acoperită cu două cupole care se întâlnesc la un arc central. Acoperişurile camerelor laterale şi ale coridoarelor sunt formate dintr-o structură din lemn. Majoritatea pereţilor exteriori sunt cu berme de pământ. Întreaga clădire este acoperită de un strat de pământ de 15 cm grosime şi iarbă vie.

Designul prezintă o integrare armonioasă în peisaj, iar rezultatul este o clădire extrem de eficientă din punct de vedere energetic.

Blocurile de pământ au fost extrudate într-o fabrică de cărămidă, şi au o suprafaţă specială rotunjită, care oferă un efect acustic pozitiv în ceea ce priveşte distribuţia sunetului. Uşoară înclinare spre exterior a blocurilor provoacă un efect de corbeling, care elimină focalizarea undelor acustice.

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania Finalizare: 1996

Suprafata: 595 m2

Pereţi exteriori, soclu: Cărămizi poroase

Acoperiş: cupole din cărămidă de noroi; structura din lemn, acoperita cu vata minerala de 15 cm; ţesătură acoperită cu plastic rezistent la apă şi ploaie; 15 cm pământ, vegetaţie de iarbă sălbatică.

Centrul Cultural I, La Paz, Bolivia

Pentru Institutul Goethe din La Paz a fost ridicată o cupolă din chirpici ca sală polivalentă pentru evenimente culturale. Cupola, ridicată fără cofraj şi cu ajutorul unui dispozitiv de rotaţie, are un diametru neobstrucţionat de 8,8 m şi o înălţime neobstrucţionată de 5,65 m. A fost construit din 9.400 de chirpici special lucraţi manual. Colţurile au fost rotunjite pentru a îmbunătăţi acustica spaţiului. Cele trei găuri servesc drept mânere pentru o manevrare mai uşoară, reducând greutatea şi ridicând izolaţia termică. Domul este acoperit

cu armatura din fibra de sticla cu un strat sintetic. Învelişul acrilic conţine pulbere de aluminiu, care reflectă radiaţiile ultraviolete.

Începând din 2005, această moschee, care are două camere circulare de 9 m diametru, fiecare acoperită de cupole, a fost în construcţie în oraşul Hessian Wabern. Va fi prima moschee care va fi construită afişând cupole şi bolţi din cărămizi de noroi (verzi) necoapte şi acoperite cu un acoperiş verde, adică un acoperiş de pământ şi iarbă vie. Cupolele mari sunt construite din cărămizi verzi acustice speciale cu margini rotunjite, aşa cum este descris în capitolul 6, p. 68. Secţiunile transversale ale domurilor sunt optimizate astfel încât să nu apară forţe inelare în interiorul domului şi astfel încât grosimea sa necesară din punct de vedere structural să fie de numai 30 cm.

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania În construcţie, finalizare anticipată: 2006

Suprafata: 273 m2

I Grădiniţa şi grădiniţa şcolii Druk White Lotus, Ladakh, India

Şcoala Druk White Lotus din satul Shey din Ladakh este un complex mare pentru 750 de elevi mixţi de la vârsta de grădiniţă până la 18 ani şi include şi cazare pentru unii elevi şi personal. Faza 1, Grădiniţa & Creşă, a fost finalizată în 2001, Şcoala Junior şi clădirile Administraţiei în 2004, Şcoala Superior este planificată pentru 2008. Complexul este situat la o altitudine de aproximativ 3700 m într-un climat extrem de rece, dar însorit.

S-au folosit pereţi ventilaţi Trombe, lână ca strat termoizolant şi geam termopan pentru a crea un confort interior acceptabil. Caracteristicile cheie de proiectare au fost, de asemenea, ciclul apei şi gestionarea deşeurilor, potenţialul solar maximizat atât prin mijloace pasive, cât şi active, latrine ventilate asistate de solar şi utilizarea materialelor de construcţie locale. Clădirile grădiniţei au pereţi cu cavitate de aer pe trei laturi cu blocuri de granit aşezate în mortar de noroi. Acoperişul este construit în tradiţia Ladakhi: un acoperiş greu de noroi susţinut de o structură din lemn independentă de pereţi pentru a oferi stabilitate la cutremur.

Arhitecţi şi ingineri: Arup Associates, Londra, Marea Britanie

Finalizare: 2001

Suprafata: 596 m2

I Mii amo Spa la Sedona, Arizona, SUA

Clădirea este o structură cu stâlp şi grinzi cu trei etaje, care este plăcută cu înveliş de contrafort diagonal. Pereţii exteriori poartă o tencuială exterioară de var pe plăci de construcţie din lână de lemn uşoară, în spatele căreia se află o izolaţie din celuloză de 12 cm grosime. Interiorul pereţilor exteriori este alcătuit din lut de ras din aşchii de lemn de 20 cm grosime, acoperit cu tencuială de argilă. Frontonul expus la intemperii este prevazut cu invelis din lemn de zada cu ventilatie in spate. Pereţii interiori sunt umpluţi cu chirpici. Acoperişul din cărămidă şi balconul se proiectează spre exterior, astfel încât camerele sudice sunt umbrite vara, dar admit lumina soarelui iarna.

Arhitecţi: Gluckman Mayner Architects, New York, SUA

Finalizare: 2001

Suprafata: 3160 m2

I Staţiune turistică Baird Bay, Peninsula Eyre, Australia de Sud

Această mică staţiune ecologică se află la 100 de metri de ocean, în Peninsula Eyre, la 1000 km vest de Adelaide, într-un climat deşert. Oferă şapte dormitoare, un magazin şi o zonă de divertisment pentru turişti, care pot merge să înoate cu leii de mare şi delfinii. Pereţii acestei staţiuni, precum şi coloanele, zidurile de sprijin şi indicatoarele au fost construite din pământ batut din sol local stabilizat cu 6% ciment.

Arhitect: George Grayton, Perth, Australia Constructor: Ramtec, Perth, Australia Finalizare: 2005

Suprafata: 700 m2

I Clădire de cazare academică, Universitatea Charles Sturt din Thurgoona, New South Wales, Australia

Toţi pereţii acestei clădiri academice de cazare din campusul Universităţii Charles Sturt sunt construite cu pământ batut. Conductele mecanice de răcire permit aerului să circule în întreaga clădire. Între etajele întâi şi al doilea există o podea din plăci de beton cu spaţii mari de aer la podea în foaier, în cele din urmă un acoperiş din plăci de beton cu aerisire la orificiile mecanice.

Arhitect și constructor: Terry Wright, Riverina Rammed Earth Constructions, Table Top, NSW, Australia

Finalizare: 2005

Suprafata: 420 m2

PLANUL PRIMULUI

I Centrul de Tineret din Spandau, Berlin, Germania

Această facilitate supravegheată pedagogic oferă copiilor şi tinerilor locali oportunităţi de activităţi de agrement şi joacă.

Un zid masiv de pământ de 32,5 m lungime subdivizează clădirea şi serveşte la conservarea energiei termice şi la echilibrarea umidităţii atmosferice.

Faţada sudica vitrata asigura livrarea pasiva a energiei solare. Peretele exterior de nord a fost decorat de artişti de graffiti cu participarea tinerilor. Acoperişul verde absoarbe 70% din precipitaţii; restul se scurge pe locul adiacent.

Arhitecţi: întrebaţi arhitecţii, Hermann Scheidt, Frank Kasprusch, Berlin, Germania

Finalizat: 2005

Suprafata: 385 m2

■ Capela Reconcilierii, Berlin, Germania

Capela se află la graniţa care despărţea anterior Berlinul de Vest de Est, pe locul fostei Biserici neogotice a Reconcilierii, care a fost demolată de guvernul est-german de atunci. Interiorul este de forma ovala, si este delimitat de un zid de pamant batut de 7,2 m inaltime si 0,6 m grosime. Acoperişul şi carcasa exterioară, formate din fâşii verticale de lemn, reprezintă un al doilea oval care este configurat excentric în raport cu primul.

Zidul de pământ batut conţine fragmente mari de cărămidă spartă din fosta biserică, precum şi pietriş, care împreună constituie 55% din material. Conţinutul de argilă este de doar 4%. Acest amestec cu granulaţie grosieră, cu un conţinut minim de umiditate de 8,1%, reduce contracţia materialului la doar 0,15%. Cu un nivel de umiditate de 50% şi o temperatură de 20°C, conţinutul de umiditate de echilibru al lutului este de 0,7%.

Amestecul de fibre de in și compactarea intensivă cu o rolă de presare a reușit să producă o rezistență la compresiune de 3,2 N/mm2 (măsurată cu cuburi de 20 x 20 x 20 cm). Raza de curbură în continuă schimbare a necesitat utilizarea unui cofraj special complicat.

Arhitecți: Reitermann + Sassenroth, Berlin, Germania

Finalizat: 2000 Suprafata: 315 m2

I Center of Gravity Foundation Hall din Jemez Springs, New Mexico, SUA

Clădirea servește drept sală principală de predare și meditație pentru complexul budist Zen existent, situat într-o vale a unui râu de munte înaltă din nordul New Mexico.

Pereții groși de pământ batut acționează ca compozite termice, ținând afară căldura nedorită de vară în timpul zilei și reradiând-o noaptea. Marginile acoperișului în consolă blochează soarele de vară. Răcirea funcționează prin ventilație încrucișată prin deschiderea panourilor glisante spre est și a ușilor de intrare spre vest. Iarna căldura este generată de apa geotermală.

Arhitecți: H. Predock, J. Frane, Santa Monica, CA, SUA

Finalizare: 2003 Suprafata: 279 m2

Perspective de viitor

În zonele cu climă mai rece, arhitectura de pământ nu poate juca niciodată rolul dominant pe care îl joacă deja în regiunile mai calde. Datorită condiţiilor climatice şi a standardelor ridicate de izolare termică din Europa Centrală şi de Nord, de exemplu, pereţii exteriori au nevoie de izolaţie termică exterioară suplimentară. Pe de altă parte, în climatele calde şi moderate ale tuturor continentelor, pereţii exteriori solidi pot fi construiţi din lut fără a fi acoperiţi. Acestea asigură un climat interior mai bun şi sunt mai economice decât pereţii din piatră naturală, cărămizi ars sau beton.

Cu toate acestea, găsim o tendinţă tot mai mare de a construi cu argilă şi în climatele mai reci din Europa şi America. Acest lucru se datorează unei conştiinţe în creştere a mediului şi conştientizării că nu numai materialele produse industrial necesită aporturi de energie inutil de mari; ei consumă, de asemenea, resurse rare, producând în acelaşi timp poluare. Un alt factor este dorinţa de a trăi într-un mediu interior echilibrat şi sănătos. În ţările în curs de dezvoltare, unde şi astăzi, mai mult de jumătate din populaţie locuieşte în case de pământ, casele moderne de obicei nu sunt construite din pământ, ci din materiale de construcţie industrializate precum cărămizi ars, beton de ciment şi panouri prefabricate de diverse compoziţii. Chiar şi aici, se recunoaşte din ce în ce mai mult că cerinţele imense existente pentru adăpost nu pot fi îndeplinite cu materiale de construcţie şi tehnici de construcţie produse industrial, deoarece nu sunt disponibile nici capacitatea productivă, nici resursele financiare necesare. Singura soluţie aparent fezabilă este utilizarea materialelor naturale, disponibile local şi a abilităţilor şi instrumentelor adecvate, integrând în acelaşi timp tehnici de auto-ajutorare, toate acestea facând pământul materialul de construcţie ideal.

În astfel de regiuni, în special cele cu climă caldă şi moderată, un număr tot mai mare de clădiri moderne au deja pereţi din chirpici sau blocuri de pământ stabilizat. Cu locuinţe ieftine în aceste regiuni, unde structurile de acoperiş pot reprezenta până la o treime din costurile totale de construcţie, utilizarea blocurilor de pământ pentru construirea de bolţi şi cupole este foarte promiţătoare, deoarece aceste tipuri de structuri pot fi mai economice decât acoperişurile industriale, creând totodată un climat interior mai bun, datorită caracteristicilor lor termice, potenţialului de ventilaţie îmbunătăţită şi proprietăţilor de izolare fonică.

Tehnicile de construcţie a pământului nou dezvoltate şi testate cu succes aşteaptă să fie adaptate şi implementate în ţările în care nu au fost încă încercate. Pentru a disemina aceste tehnici, ar trebui elaborate linii directoare şi oferite cursuri de formare.

Practicabilitatea acestor tehnici va trebui demonstrată nu numai cu proiecte rezidenţiale, în special cu locuinţe ieftine, ci şi în clădiri publice, cum ar fi spitale, şcoli şi clădiri de birouri. Acest lucru ar arăta că, dacă este utilizat corect, pământul este un material de lungă durată şi economic, care este uşor disponibil şi uşor de manevrat şi este capabil să creeze chiar şi clădiri prestigioase.

Construcţia zidurilor de zidărie din chirpici, din blocuri de pământ uscate la soare, nearsă, va continua să fie o tehnică dominantă pur şi simplu pentru că astfel de tehnici pot fi folosite de zidari din toate părţile lumii fără pregătire specială. Domurile şi bolţile din Adobe sunt o alternativă valoroasă din punct de vedere economic şi structural la acoperişurile obişnuite plate sau uşor înclinate din tablă, azbociment sau beton armat. Ele vor fi cu siguranţă utilizate cu o frecvenţă mai mare odată ce înţelegerea potenţialului lor devine mai răspândită.

Tehnica pământului batut este favorabilă pentru climatele moderate şi calde şi este, de asemenea, economică, mai ales dacă este utilizată cu echipamente adecvate şi tehnologie mecanizată.

Cunoştinţele despre cum se construiesc clădiri rezistente la cutremure din chirpici şi pământ batut ar trebui să fie răspândite în toate zonele predispuse la cutremure. S-a dovedit că, în multe cazuri, nu utilizarea materialelor de pământ ca atare a dus la prăbuşirea unor astfel de clădiri în timpul cutremurelor, ci mai degrabă proiecte structurale incorecte şi măiestrie proastă. În ţările industrializate din zonele cu climă moderată, elementele de lut uşor prefabricate şi tencuielile de lut pentru pereţii interiori vor fi folosite cu o frecvenţă tot mai mare. În Germania, Austria şi Ţările de Jos, mai multe tipuri au avut recent succes din ce în ce mai mult pe pieţele în creştere rapidă pentru astfel de produse.

Măsuri

Valori fizice

Valorile R şi U

În această carte, toate măsurile în ceea ce priveşte lungimile şi suprafeţele, precum şi valorile fizice se bazează pe sistemul metric. Echivalentul anglo-saxon al valorii U (care descrie conductivitatea termică în Europa Centrală) este valoarea R, care a fost adăugată

între paranteze. În acest context, trebuie remarcat faptul că valorile R se bazează pe sistemul metric.

Pentru a permite cititorilor să convertească valorile în sistemul imperial care este cel mai frecvent utilizat în America de Nord, am enumerat cei mai importanţi factori de conversie după cum urmează:

Lungimi şi suprafeţe

1 mm = 0,03937 inci

1 cm = 0,3937 inci

1 m = 39,37 inchi

1 m2 = 10,764 picioare pătrate

1 ha = 2.471 acri

1 inch = 2,54 cm

1 picior = 30,48 cm

1 picior pătrat = 0,093 m2

1 acru = 0,4047 ha

Temperatură

Celsius (Celsius) - Fahrenheit

Înmulţiţi cu 9/5 şi adăugaţi 32

Toate valorile R şi U din această carte au fost precizate conform sistemului metric. Pentru conversia sistemului metric (USI, RSI) în sistemul imperial respectiv (U, R), este necesară utilizarea factorilor:

R x 0,1761 = RSI

RSI x 5,6783 = R

Valorile U sunt reciprocele valorilor R respective şi invers.

Referinţe bibliografice

Aslam, M.; Satiya, RC: „O tehnică de impermeabilizare a pereţilor de noroi”. Materialele de construcţii Nota nr. 14. Institutul Central de Cercetare, Roorkee, India.

Bardou, P.; Arzoumanian, V.: Archi de terre. Paris, Franţa 1978.

Beckert, J.: „Wirkung von Verunreinigungen der Raumluft auf den Menschen,” în: Beckert et al. (ed.): Gesundes Wohnen. Dusseldorf, Germania 1986.

Boemans, U.: Sanierung und Umnutzung einer Fachwerkscheune. Universitatea din Kassel, Germania 1990.

Bourgeois, J.-L.: „Adobe tradiţional este ilegal în New Mexico”, în: Adobe Journal No. 5/1991, p. 47.

Cointeraux, F.: Schule der Landbaukunst. Hildburghausen, Germania 1793.

CRATerre: Construire en terre. Paris, Franţa 1979.

CRATerre: Bloc de pământ comprimat: Ghid de producţie. GTZ, Eschborn, Germania 1991.

Dehn, W.: „Lehmziegel der Hallstattzeit (6. Jh v. Chr.),” în: Der Museumsfreund No. 4/5 1964, pp. 54-61.

Departamentul de Locuinţe şi Construcţii (ed.): Construcţii de pereţi de pământ. Buletinul EBS nr. 5. Canberra, Australia 1981.

Dalokay, Y.: Lehmflachdachbauten in Anatolien. Disertaţie. Universitatea Tehnică din Braunschweig, Germania 1969.

Elias, P.: "Le Bilan energetique de quelques parois de bâtiment", în: Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment No. 213, oct. 1980.

Easton, D.: The Rammed Earth House, White River Junction, SUA 1996.

Fathy, H.: Energie naturală şi arhitectură vernaculară. Chicago/Londra, SUA/Marea Britanie 1986.

Gilly, D.: Praktische Abhandlung aus der Lehm- baukunst betreffend den Bau der sogenannten Lehmo- oder Wellerwande, wie man dieselben dauerhaft mit wenigen Kosten und einer wahren Holzersparung auffuhren konne. Berlin, Germania 1787

Gilly, D.: Beschreibung einer vorteilhaften Bauart mit getrockneten Lehmziegeln. Berlin, Germania 1790.

Gilly, D.: Handbuch der Land-Bau-Kunst. Braunschweig şi Halle, Germania 1800 şi 1822.

Gotthard, H.: „Ober physikalische Eigenschaften des Baustoffes Lehm”, în: Naturbauweisen 5/1949.

Grandjean, E.: Wohnphysiologie. Zurich, Elveţia, 1972.

Guntzel, JG: Zur Geschichte des Lehmbaus în Deutschland. Teză, Universitatea din Kassel. Staufen, Germania 1988.

Hofmann, U.; Schembra, FW şi colab.: „Die Trockenbiegefestigkeit von Kaolinen und Tonen", în: Berichte der Deutschen keramischen Gesellschaft, voi. 44 (1967), H.4, pp. 131-140.

Houben, H.; Guillaud, H.: Earth Construction Primer. Bruxelles, Belgia 1984.

Ingles, OG; Metcalf, JB: Stabilizarea solului. Sydney, Australia 1972.

Biroul Internaţional al Muncii (ed.): Fabricarea la scară mică a blocurilor de sol stabilizate. Geneva, Elveţia 1987.

Jain, JP; Kulshrestha, RP; Singh, I.: O nouă tehnică de a face ignifuge din paie. Notă tehnică. Institutul Central de Construcţii, Roorkee, India, 1978.

Karsten, R.: Bauchemie furStudium und Praxis. Haslach, Germania (ediţia a 7-a) 1983.

Keefe, L.: Construirea pământului: metode şi materiale, reparaţii şi conservare. Londra, Marea Britanie 2005.

Knofel, D.: Bautenschutz mineralischer Baustoffe. Wiesbaden, Berlin, Germania 1979.

Kunzel, H.: „Die hygrothermische Beanspruchung von AuBenputzen", în: Bauphysik (Berlin) vol.

4/1990, p. 104-109.

Letzner, T.; Stein, J.: Lehm-Fachwerk. Köln, Germania 1987

Manandhar, R.: „Mud brick dome and vault construction...", în: Proceedings of the First International Earth Sheltered Buildings Conference. 1-6 august, Sydney 1983, p. 371-375.

Marme, W.; Seeberger, J.: „Der Primarengieinhalt von Baustoffen," în: Bauphysik No. 5/1982, pp. 155-169 and No. 6, pp. 208-214.

McCann, J.: Clădiri din lut şi cob. Aylesbury, Marea Britanie 1983.

McHenry, PG: Adobe şi clădiri cu pământ batut. New York, SUA 1984.

McHenry, PG: Povestea Adobe: O comoară globală. Albuquerque, SUA 2000.

Middleton, CF: Construieşte-ţi casa de pământ. Victoria, Australia (ediţie revizuită) 1979.

Miller, T.; Grigusch, E.; Schulze, KW: Lehmbaufibel. Weimar, Germania 1947

Minke, G.: „Earthquake resistant low-cost houses utilizing indigenous building materials and intermediate technology", în: Proceedings, International Symposium on Earthquake Relief in Less Industrialized Areas. 28-30 martie 1984. Zurich, Elveţia 1984.

Minke, G.: „Design and Construction of Energy and Cost Saving Vault and Dome Structures", în: Proceedings of the International Symposium of Hassan Fathy for Architecture for the Poor, April 20-22, 1993. Cairo, Egypt 1993.

Minke, G.: „Controlul umidităţii/Echilibrarea fluctuaţiilor de umiditate", în: Bansal, Hauser, Minke: Passive Building Design, A Handbook of Natural Climatic Control. Amsterdam, Olanda 1994, p. 180-188.

Minke, G.; Mukerji, K.: Domuri optimizate structural - Un manual de proiectare şi construcţie. Braunschweig, Germania 1995.

Minke, G.: Manual de construcţie a pământului. Southampton, Marea Britanie 2000.

Minke, G.: Das neue Lehmbau-Handbuch. Staufen, Germania (ediţia a 6-a) 2004.

Minke, G.: Manual de construcţie pentru case rezistente la cutremur construite din pământ. Eschborn, Germania 2002.

Minke, G.; Mahlke, F.: Clădire cu paie. Basel, Berlin, Boston, Germania 2005.

Mohler, K.: „Grundlagen der Holzhochbaukon- struktionen", în Gotz, K.-HJ.; Hoor, D şi colab.: Holzbauatlas. Munchen, Germania 1978.

Mukerij, K.: Prese pentru blocuri de sol. GTZ, Eschborn, Germania 1986.

Mukerij, K.: Prese pentru blocuri de sol: informaţii despre produs. GTZ, Eschborn, Germania 1988.

Niemeyer, R.: Der Lehmbau und seine praktische Anwendung. Hamburg, Germania 1946.

OCDE, Agenţia pentru Energie Nucleară: „Expunerea la radiaţii de la radioactivitatea naturală în materialele de construcţie", în: Raport, mai 1979. Paris, Franţa 1979.

Oliver, M.; Mesbah, A.: „Pământul ca material", în: Proceedings International Symposium on Modern Earth Construction. Beijing, China 1985.

Pingel, M. şi P.: Bericht uber den Anstrich der Lehmkuppeln ihres Hauses în Auroville, India. Document nepublicat. 1993.

Popposwamy, G.: India rurală. Case de sat în Pământul zdrobit. Stuttgart, Germania 1979.

Pumpelly, R. (ed.): Explorations in Turkestan. Washington, SUA 1908.

Rauch, M.; Kapfinger, O.: Rammed Earth /Lehm und Architektur / Terra cruda. Basel, Berlin, Boston, Germania 2001.

Schmitt, C. Leichtlehmbau. Raport BPS-I, document nepublicat. Universitatea din Kassel, Germania 1993.

Schreckenbach, H.: Tehnologia construcţiilor pentru o ţară tropicală în curs de dezvoltare. Eschborn, Germania fără întâlnire.

Smith, RG; Webb, DTJ: Fabricarea la scară mică de cărămizi de sol stabilizate. Memorandumul Tehnic nr. 12. Biroul Internaţional al Muncii. Geneva, Elveţia, 1987.

Sibtain, SN: Pentru a construi un sat - arhitectură rurală rezistentă la cutremure. Parramatta, Australia 1982.

Stulz, R.; Mukerji, K.: Materiale de construcţii adecvate. St. Gallen, Elveţia 1988.

Turowski, R.: Entlastung der Rohstoff- und Primarenergiebilanz ... Disertaţie, Universitatea din Essen, Germania 1977

Centrul Naţiunilor Unite pentru Aşezările Umane (ed.): Earth Construction Technology. Nairobi, Kenia, 1992.

Volhard, F.: Leichtlehmbau. Karlsruhe, Germania 1983.

Vorhauer, K.: Low Cost/Self Help Housing. Poarta Modul 6/6. Eschborn, Germania 1979.

Voth, B.: Boden, Baugrund und Baustoff. Wies-baden/Berlin, Germania 1978.

Walker, P,; Keable, R.; Martin, J.; Maniatidis, V.: Pământ batut: linii directoare de proiectare şi construcţie. BREPress, Bracknell, Marea Britanie 2005.

Wehle, K.: Werkstoffe und Techniken der Malerei. Ravensburg, Germania (ediţia a 5-a) 1985.

Weiss, A.: Angewandte Chemie 75 (1963), pp. 755-762.

Weller, K.; Rehberg, S.: Losungsansatze fur den energie- und rohstoffsparenden Wohnungs-bau. Proiect de cercetare DFG, Universitatea Tehnică din Berlin, Germania 1979.

Yazdani, H.: Erhohung der Lebensdauer von Lehmbauten in erdbebengefahrdeten Gebieten Afghanistans. Dizertaţie, Universitatea din Kassel, Germania 1985.

Zogler, O.: Wohnhauser aus Lehm. Munchen, Germania 2004.

Mulţumiri

Autorul doreşte să mulţumească tuturor studenţilor, asistenţilor şi colegilor care au contribuit la proiectele de cercetare şi dezvoltare din Germania, Argentina, Bolivia, Brazilia, Chile, Guatemala, Ecuador, Ungaria, India, Nigeria şi Rusia. Datorită acestor eforturi, această carte conţine atât de multe date şi relatări despre experienţa practică de muncă.

Mulţumiri speciale se datorează asistenţilor de cercetare HG Merz, Ulrich Merz, Klaus Eckart, Ulla Lustig-Rossler, Kiran Mukerji, Ulrich Boemans, Uwe Jaensch, Dittmar Hecken, Alexander Fischer, Arno Reich-Siggemann, Friedemann Mahlke, Marcio Rosa d'Avila, Ernst Muller şi Saski care au dezvoltat cele mai multe teste tehnice ale lui Frank Millen şi Saski. aparate si dispozitive de constructii.

De asemenea, autorul doreşte să mulţumească lui Pawan Kumar şi Anke Lubenow, care au ajutat la realizarea desenelor; Ulrich Boemans, Sigrid Koster, Uwe Jaensch şi Friedemann Mahlke, care au pregătit grafica computerizată; Gabrielle Pfaff, care a proiectat layout-ul; precum şi Shalini Hingorani, Rajeshwari Prakash, Sanjay Prakash şi Ian Pepper pentru asistenţa acordată la traducere. Nu în ultimul rând, autorul îşi exprimă recunoştinţa faţă de Ria Stein şi Michael Wachholz, care au oferit asistenţă editorială şi au efectuat cercetări de imagine.

Kassel, februarie 2006

Gernot Minke

Credite ilustrative

Adle, Kamran (Premiul Aga Kahn pentru arhitectură): p. 175 sus şi jos

Atlas-Copco: 5.11

Anderson, Ken: p. 166

Bochow, K.-H.: 6,3

Breshna: 14.30

Bucaretchi, Maxim: p. 172 stânga şi dreapta; p. 173 sus şi jos

CEPED: 5,26

Consolidat: 6,14

Dressler, F.: 8,8

Dufter, S.: 71, 72

El Badwan, G.: 1429

Staţiunea Descântec (Mii Amo): p. 187 top Fischer, Alexander: p. 160 sus şi centru Gerster-Rapho: 1.6

Glauser, Philippe: p. 174 sus

Gnadinger, Alexander: coperta

Gruner, D.: 1,4

Heuser: 5.12

Huber, Samuel: 192 de sus

Karcher, Joaquin: p. 162 sus, centru dreapta şi stânga,

p. 163; p. 164 sus, centru dreapta şi stânga; p. 165

Klomfar, Bruno: 192 jos, 193

Lauber, Wolfgang: 1,9

Lorenz-Ladener, C.: 6,4

Lukas, G.: 8,9, 8,10

Mein, Trevor: p. 168 sus, centru dreapta şi stânga;

p. 169 sus şi jos

North, Graeme: p. 170 sus şi centru stânga; p. 171

Nothelfer, Michael:p. 158 sus, p. 159 sus, jos dreapta şi stânga

OKOKOK Productions: p. 157 sus, jos dreapta şi stânga

Oliver, D.: 5,22, 5,23

Pacific Adobe: 6.15

Payne, Alan şi Trish: p. 188 sus, centru dreapta şi stânga, jos

Predock, Jason: p. 194 sus; p. 195

Reynolds, M.: 14,4

Schijns, W.: 14,25

Sohie, Caroline: p. 184 stânga şi dreapta; p. 185 sus şi jos dreapta

Sub, Andreas: p. 190 de sus; p. 191 sus şi jos

Trapel, Ray: p. 167 sus şi jos

Weller, K.: 6,16, 6,17

Wolf, S.: 5,27, 5,28

Wright, Anthony: p. 189 sus şi jos

Yazdani, S.: 1,5, 14,54, 14,55

Zernike, Harry: p. 186 sus şi jos, p. 187 dreapta jos

Toate celelalte imagini: Minke, Gernot

Design grafic: Gabrielle Pfaff, Berlin Traducere: Shalima Hingorami, Rajeshwari Prakash, Sanjay Prakash, New Dehli, India;

Ian Pepper, Berlin şi Gernot Minke, Kassel, Germania

O înregistrare a catalogului CIP pentru această carte este disponibilă la Biblioteca Congresului, Washington DC, SUA

Informaţii bibliografice publicate de

Die Deutsche Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek listează această publicaţie în Deutsche Nationalbibliografie; date bibliografice detaliate sunt disponibile pe internet la <http://dnb.ddb.de>.

Această lucrare este supusă dreptului de autor. Toate drepturile sunt rezervate, indiferent dacă este vorba de materialul integral sau parţial, în special drepturile de traducere, retipărire, reutilizare a ilustraţiilor, recitare, difuzare, reproducere pe microfilme sau în alte moduri şi stocare în bănci de date. Pentru orice fel de utilizare, trebuie obţinută permisiunea deţinătorului drepturilor de autor.

© 2006 Birkhauser - Publishers for Architecture, PO Box 133, CH-4010 Basel, Elveţia Parte a Springer Science+Business Media Imprimat pe hârtie fără acid produsă din pastă fără clor. TCF »

Tipărit în Germania

ISBN-13: 978-3-7643-7477-8

ISBN-10: 3-7643-7477-2

9 8 7 6 5 4 3 2 1 http://www.birkhauser.ch

Coperta: Capela Reconcilierii, Berlin, Germania